

# Plinska instalacija na ukapljeni naftni plin za energetska obnovu zgrade dječjeg vrtića

---

Vukotić, Lara

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:854412>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-21**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**PLINSKA INSTALACIJA NA UKAPLJENI NAFTNI PLIN ZA  
ENERGETSKU OBNOVU ZGRADE DJEČJEG VRTIĆA**

Rijeka, srpanj 2022.

Lara Vukotić

0069076488

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**PLINSKA INSTALACIJA NA UKAPLJENI NAFTNI PLIN ZA  
ENERGETSKU OBNOVU ZGRADE DJEČJEG VRTIĆA**

Mentor: doc. dr. sc. Paolo Blecich

Rijeka, srpanj 2022.

Lara Vukotić

0069076488

Rijeka, 12. ožujka 2021.

Zavod: **Zavod za termodinamiku i energetiku**  
Predmet: **Plinska tehnika**  
Grana: **2.11.02 procesno energetska strojarstvo**

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Lara Vukotić (0069076488)**  
Studij: **Diplomski sveučilišni studij strojarstva**  
Modul: **Procesno i energetska strojarstvo**

Zadatak: **Plinska instalacija na ukapljeni naftni plin za energetska obnovu zgrade dječjeg vrtića / Gas installation on liquefied petroleum gas for energy renovation of a kindergarten building**

### Opis zadatka:

U diplomskom radu potrebno izraditi strojarski projekt plinske instalacije na ukapljeni naftni plin za energetska obnovu zgrade dječjeg vrtića u Zadru. Projekt treba sadržavati: plinsku stanicu i spremnike UNP-a, razvod plinske instalacije, unutarnju plinsku instalaciju, plinsku kotlovnice, proračun zrako-dimovodnog sustava, odabir plinomjera, zapornih ventila i regulatora tlaka, troškovnik sa specifikacijom opreme, materijala i potrebnih radova te nacrtnu dokumentaciju. Nacrtom dokumentacijom obuhvatiti situacijski nacrt, spremnike UNP-a i zone opasnosti, tlocrt i izometriju plinske instalacije, hidrauličku shemu plinske kotlovnice, isparivački sklop te plinski ormarić s plinomjerom i regulatorom tlaka. Toplinski učin objekta proračunati na temelju toplinskog opterećenja za grijanje zgrade (HRN 12831) na lokaciji Grada Zadra i pripremu potrošne tople vode. Godišnju potrošnju plina izračunati prema mjesečnoj metodi proračuna potrebne toplinske energije za grijanje (HRN 13790) i pripremu PTV-a. Plinsku instalaciju izvesti u skladu sa propisima za projektiranje plinskih instalacija (HSUP-P600), pravilnikom o UNP-u (NN 117/2007) i mjerama zaštite od požara, općim uvjetima za projektiranje plinskih instalacija te posebnim uvjetima nadležnog operatera distribucijskog sustava. Opisati uvjete i postupak ispitivanja nepropusnosti i ispravnosti plinske instalacije prije puštanja u pogon (HSUP-P601.111).

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

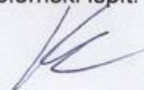
Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2021.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



Doc. dr. sc. Paolo Blecich



Prof. dr. sc. Kristian Lenić



Doc. dr. sc. Igor Bonefačić (komentor)

## **IZJAVA**

Ja, Lara Vukotić, izjavljujem da sam ovaj diplomski rad izradila samostalno uz pomoć mentora doc. dr. sc. Paola Blecicha, upotrebljavajući znanja stečena tijekom studiranja na Tehničkom fakultetu u Rijeci te navedenu literaturu.

---

Lara Vukotić

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKE OSNOVE .....	2
2.1. Ukapljeni naftni plin .....	2
2.2. Sastav i svojstva .....	4
2.3. Postupak dobivanja UNP – a .....	11
2.4. Prednosti i nedostaci korištenja ukapljenog naftnog plina (UNP) .....	13
3. OPREMA ZA UKAPLJENI NAFTNI PLIN .....	14
3.1. Osnovni pojmovi .....	14
3.2. Spremnici za UNP .....	17
3.2.1. Stabilni spremnici za UNP .....	18
3.2.2. Mali spremnici za UNP .....	21
4. ENERGETSKA OBNOVA DJEČJEG VRTIĆA .....	27
4.1. Opis objekta i mjere energetske obnove .....	27
4.2. Izolacija vanjske ovojnice objekta .....	30
4.3. Klimatsko - meteorološki podaci .....	33
4.4. Koeficijent prolaza topline .....	34
4.4.1. Rezultati izračuna koeficijenta prolaza topline prije energetske obnove .....	34
4.4.2. Rezultati izračuna koeficijenta prolaza topline nakon energetske obnove .....	39
5. PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA .....	43
5.1. Transmisijski toplinski gubici .....	44
5.2. Ventilacijski toplinski gubici .....	47
5.3. Toplina za zagrijavanje zbog prekida grijanja .....	49
5.4. Rezultati proračuna toplinskog opterećenja .....	50
6. GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJE ZA GRIJANJE DJEČJEG VRTIĆA .....	54
6.1. Ulazni parametri proračuna .....	54
6.2. Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje .....	56
6.2.1. Toplinska energija izmijenjena transmisijom .....	56
6.2.2. Toplinska energija izmijenjena ventilacijom .....	57
6.2.3. Toplinski dobitci .....	62
6.2.4. Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje .....	63
6.2.5. Izračun mjesečnih vrijednosti toplinske energije za grijanje .....	65

6.2.6.	Rezultati proračuna godišnje potrebne energije za grijanje prije energetske obnove	67
6.2.7.	Rezultati proračuna godišnje potrebne energije za grijanje nakon energetske obnove	70
7.	PRORAČUN POTROŠNE TOPLE VODE.....	74
7.1.	Izračun godišnje potrebne topline za pripremu PTV-a.....	76
7.2.	Proračun spremnika UNP-a .....	77
8.	PRORAČUN PLINSKE INSTALACIJE .....	78
8.1.	Odabir kotlova .....	78
8.2.	Pad tlaka u plinskim instalacijama .....	79
8.2.1.	Pad tlaka na srednjetačnoj instalaciji .....	79
8.2.2.	Pad tlaka na niskotlačnoj instalaciji .....	84
8.3.	Proračun dimnjaka .....	86
8.4.	Proračun kotlovnice .....	92
9.	TROŠKOVNIK.....	98
9.1.	Strojarski dio.....	98
9.2.	Spremnik ukapljenog naftnog plina.....	99
9.3.	Ispitivanje instalacije .....	99
9.4.	Instalacije.....	100
10.	ZAKLJUČAK .....	101
	LITERATURA.....	102
	POPIS TABLICA.....	103
	POPIS SLIKA .....	105
	SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	106
	SUMMARY AND KEY WORDS.....	107
	PRILOZI.....	108

## 1. UVOD

U ovome diplomskom radu izrađen je strojarski projekt plinske instalacije na ukapljeni naftni plin za energetska obnovu dječjeg vrtića u gradu Zadru.

Energetska obnova smanjuje potrošnju energije i potrošnju energenata čime dolazi do smanjenja emisije ugljikovog dioksida (manje zagađenje okoliša), a samim time i ukupne troškove. U cilju energetske obnove poduzeti su sljedeći koraci: izolacija vanjske ovojnice zgrade, izolacija ravnog krova, zamjena stolarije te je unaprijeđen sustav grijanja (plinifikacija kotlovnice).

Toplinski učin zgrade proračunat je za stanje prije te nakon energetske obnove na temelju proračuna toplinskog opterećenja za grijanje prema HRN 12831 i pripremu potrošne tople vode. Godišnja potrošnja plina izračunata je prema mjesečnoj metodi proračuna potrebne toplinske energije za grijanje HRN 13790 i pripremu potrošne tople vode.

Projekt sadrži proračun plinske stanice i spremnika ukapljenog naftnog plina, razvod plinske instalacije, unutarnju plinsku instalaciju, proračun plinske kotlovnice, proračun dimnjaka, odabrana je potrebna oprema te je izrađen troškovnik. Odabir cjevovoda izvršen je na temelju razlike pada tlaka na ulaznom i izlaznom dijelu cjevovoda. Nacrtna dokumentacija obuhvaća situacijske tlocrte prizemlja i prvog kata dječjeg vrtića, zone opasnosti spremnika UNP-a, zrako - dimovodni sustav, tlocrt plinske instalacije, izometrija plinske instalacije te hidraulička shema plinske kotlovnice

Plinska instalacija izvedena je u skladu s propisima za projektiranje plinskih instalacija, pravilnikom o ukapljenom naftnom plinu te mjerama zaštite od požara.



## 2. TEORIJSKE OSNOVE

### 2.1. Ukapljeni naftni plin

Ukapljeni naftni plin (skraćenica na hrvatskom tehničkom jeziku UNP) je smjesa gorivih plinova (najčešće su to propan i butan) u različitim masenim (ili volumnim) udjelima namijenjena kao izvor topline ili kao sirovina u petrokemijskoj industriji namijenjena daljnjoj obradi. Kod nas se vrlo često za ukapljeni naftni plin koristi naziv iz početaka njegove upotrebe, „propan – butan“.

Glavni sastojci ukapljenog naftnog plina su zasićeni ugljikovodici propan i butan sa svojim izomerima; pored njih smjesu čine i aktivni ugljikovodici iz reda alkena (eten, propen, buten i njihovi izomeri). Izomeri su spojevi istog sastava (iste molekularne formule), a različitih svojstava, zbog različita rasporeda atoma u molekuli.

Propan je alkan iz skupine ugljikovodika s tri ugljikova atoma u molekularnoj strukturi. Kemijska formula mu je  $C_3H_8$ , molarna masa 44,1 kg/kmol, točka vrelišta  $-42^\circ C$ , gustoća  $2,0098 \text{ kg/m}^3$  pri normalnim uvjetima, talište  $-188^\circ C$ .

Butanova molekula sadrži četiri atoma ugljika, kemijska formula mu je  $C_4H_{10}$ , molarna masa butana je  $58,12 \text{ kg/kmol}$ , točka vrelišta  $-1^\circ C$ , gustoća  $2,48 \text{ kg/m}^3$  pri  $p = 101\,325 \text{ Pa}$  i  $t = 15^\circ C$ , točka tališta  $-140^\circ C$ , skupina alkani.

Ako se uzmu kao referentni normni uvjeti (tlak  $p = 101\,325 \text{ Pa}$ , temperatura  $t = 0^\circ C$ ), tada je UNP u plinovitom stanju i gušći nego zrak (ima veću gustoću [ $\text{kg/m}^3$ ]). Ukapljuje se pri tlakovima od 1,7 do 7,5 bar [1]. Osim ugljikovodika nižeg reda može sadržavati neugljikovodične tvari u propisanim sadržajima (nečistoće kao sumpor, dušik, kisik, vlaga, amonijak). Ove tvari se pojavljuju kao rezultat proizvodnih uvjeta, nečistoća koje dopijevaju u UNP prilikom prijevoza odnosno koje dopijevaju u UNP pri skladištenju.

Najčešće nečistoće su:

- Voda: može izazvati zamrzavanje dijelova instalacija pri niskim temperaturama, odnosno, pri nižim udjelima propana stvaranje čvrstih hidrata s ugljikovodicima.
- Amonijak ( $NH_3$ ) je korozivan za dijelove opreme od bakrenih slitina.

- Sumpor (S) uzrokuje stvaranje sumporovodika koji su agresivni za posude pod tlakom, odnosno onečišćivači su okoliša.
- Ugljikovodici višeg reda (iznad C<sub>5+</sub>).

UNP-u se u pravilu dodaju razni aditivi - tvari za poboljšavanje fizikalnih i kemijskih svojstava, a najčešći su:

- metanol, koji se dodaje radi sprečavanja smrzavanja zimi (u količini 1 – 1,5 l/m<sup>3</sup>),
- odoranti za brzo i jednostavno otkrivanje u slučaju nekontroliranog isticanja (etil-merkaptan u količini 12 g/m<sup>3</sup> i tiofen u količini od 77 g/m<sup>3</sup>). [1]

Sredstva koja se miješaju s UNP moraju imati određena svojstva:

- lako osjetljiv miris koji se lako prepozna od ostalih mirisa u kućanstvu i tehnološkim procesima,
- prilikom izgaranja plina moraju potpuno izgorjeti, nestati,
- ne daju tekuću fazu u dijelovima opreme,
- ne izazivaju koroziju dijelova opreme,
- ne smiju biti štetni po zdravlje i okoliš.

Čisti UNP je bez boje, okusa i mirisa, i kao takav se ne može otkriti njuhom. Stoga se za upotrebu zahtijeva njegova odorizacija, odnosno dodavanje sredstava jakog mirisa, kako bi se otkrilo njegovo prisustvo (navedeni etil-merkaptan i tiofen). Koncentracija odoranta mora biti takva da se osjetilom njuha može osjetiti koncentracija plina koja je 20% niža od donje granice eksplozivnosti. UNP ima nisku granicu eksplozivnosti te u kombinaciji sa zrakom lako stvara eksplozivne smjese (DGE – GGE = 2 – 10 %).

Za posebne namjene (bolnice, laboratorije, određene primjene u kemijskoj industriji) će se upotrebljavati visoko čisti UNP (čistoća od 99 %) čija se prisutnost u zraku ne može otkriti njuhom.

## 2.2. Sastav i svojstva

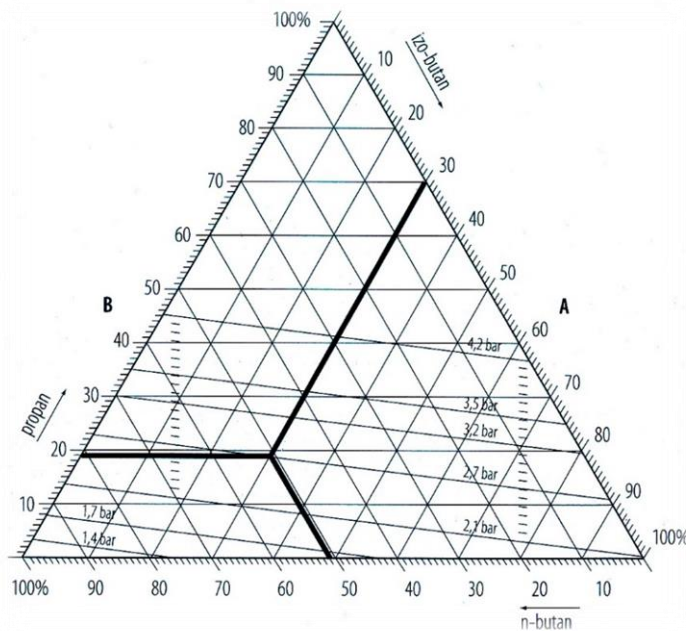
Ukapljeni naftni plin se sastoji od zasićenih nižih ugljikovodika  $C_2H_{2n+2}$ , propana i butana, koji su pri normalnim uvjetima tlaka i temperature u plinovitom stanju. Ukapljeni naftni plin se pojavljuje u 2 stanja i 3 faze.

Stanje UNP-a je agregatno stanje u kojem se nalazi: on može biti u plinovitom ili u kapljevitom stanju, ovisno o tlaku i temperaturi na kojoj se nalazi.

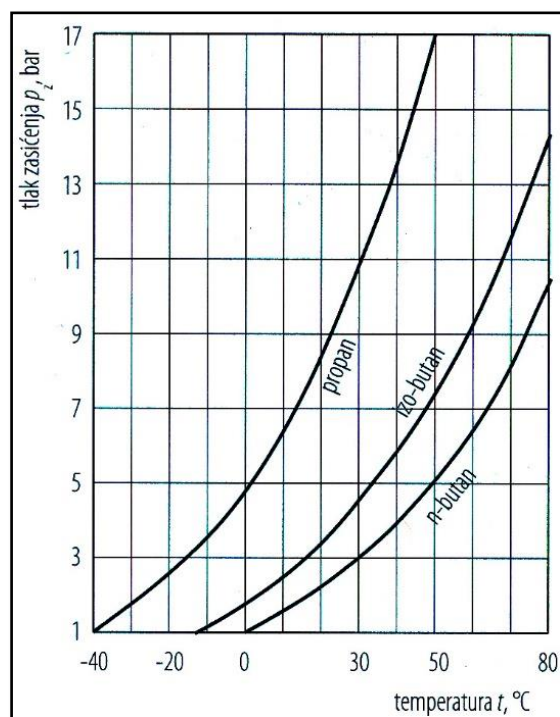
Faza je pojam koji se odnosi na stanje UNP-a u zatvorenom spremniku: on tada može biti u tekućoj (pothlađena ili vrela kapljevina – stanje pri kojoj nema pare u sastavu), parnoj (heterogena smjesa vrela kapljevine i suhozasićene pare pri tlaku i temperaturi zasićenja) i plinovitoj fazi (kao suhozasićena ili pregrijana para – stanje u kojem više nema vrela kapljevine).

Tlak zasićenja je tlak pri kojem su, na određenoj temperaturi, u mehaničkoj i toplinskoj ravnoteži vrela kapljevina i suhozasićena para. Jednom tlaku odgovara samo jedna temperatura zasićenja i obrnuto. Tlak zasićenja će ovisiti o sastavu smjese, različitim sastavima odgovaraju različite vrijednosti.

Prema Pravilniku o ukapljenom naftnom plinu (NN 117/2007) tlak pare je tlak zasićenja pri temperaturi od 40 °C. [4]



Slika 2.1 Trokut za određivanje tlaka smjese propana i izomera butana [1]



Slika 2.2 Krivulje zasićenja propana i izomera butana [1]

Osnovna svojstva trgovačkog propana i butana dani su u tablici 2.1 dok su toplinska svojstva glavnih sastojaka UNP-a prikazani u tablici 2.2.

Tablica 2.1 Svojstva trgovačkog propana i butana

Svojstvo	Trgovački propan	Trgovački butan
Gustoća u tekućem stanju pri 15°C, [kg/dm <sup>3</sup> ]	≥ 0,502	≥ 0,559
Tlak zasićenja pri 15°C, [bar]	7,5	1,7
Tlak zasićenja pri 50°C, [bar]	11,5 – 19,3	6,9
Donja ogrjevna vrijednost pri 15°C, [MJ/kg]	46,0	45,6
Volumni udio CO <sub>2</sub> u dimnim plinovima pri potpunom izgaranju, [%]	13,7	14
Volumni udio dušika pri potpunom izgaranju, [%]	86,3	86
Najviša temperatura plamena u zraku, °C	1915	1920
Maseni udio sumpora, [%]	Do 0,005	Do 0,005

Tablica 2.2 Toplinska svojstva glavnih sastojaka UNP-a [1]

sastojak		propan	propen	n-butan	izo-butan	1-buten
formula		$C_3H_8$	$C_3H_6$	$C_4H_{10}$	$C_4H_{10}$	$C_4H_8$
molarna masa $M$ , [kg/kmol]		44,097	42,081	58,124	58,124	56,108
molarni volumen $V_m$ , [m <sup>3</sup> /kmol]		21,928	21,998	21,461	21,55	21,585
plinska konstanta $R$ , [J/kg K]		51,09	53,87	38,13	38,62	41,12
maseni udio ugljika, %		81,71	85,72	82,66	82,66	85,63
maseni udio vodika, %		18,28	14,28	17,34	17,34	14,37
vrelište $t_{vr}$ , °C		-42,1	-47,7	-0,5	-11,7	-6,9
kritična temperatura $t_{kr}$ , °C		96,8	91,8	152,1	135,0	144,7
kritični tlak $p_{kr}$ , bar		42,6	46,2	38,1	37,0	40,0
specifični volumen pri 15°C	u plinovitom stanju $v_{pl}$ , [m <sup>3</sup> /kg]	0,521	0,545	0,381	0,387	/
	u kapljevitom stanju $v_{kap}$ , [l/kg]	1,972	1,912	1,71	1,776	1,658
gustoća	u plinovitom stanju pri normalnim uvjetima $\rho_{pl}$ , [kg/m <sup>3</sup> ]	2,011	1,913	2,708	2,697	2,599
	u kapljevitom stanju pri 15°C $\rho_{kap}$ , [kg/l]	0,507	0,523	0,585	0,563	0,605
specifični toplinski kapacitet u kapljevitom stanju pri 0°C $c_{kap}$ , [kJ/kg K]		2,43	2,64	2,26	2,34	2,34
relativna gustoća $d$		1,555	1,479	2,094	2,086	2,01
gornja ogrjevna vrijednost $H_g$	kW h/kg	14,0	13,69	13,77	13,75	13,54
	kW h/m <sup>3</sup>	28,28	26,21	37,22	36,67	33,85
donja ogrjevna vrijednost $H_d$	kW h/kg	12,87	12,79	12,69	12,67	12,64
	kW h/m <sup>3</sup>	25,99	24,5	34,31	33,79	31,62
omjer ogrjevnih vrijednosti $H_d/H_g$		0,919	0,934	0,922	0,921	0,934

Gustoća UNP-a kada je on u plinovitom stanju se određuje na isti način kako bi se određivala gustoća smjese idealnih (ili poluidealnih) plinova, prema izrazu (2.1):

$$\rho_{UNP} = \sum \rho_{pli} \cdot r_i \quad (2.1)$$

gdje je:

$\rho_{UNP}$  – gustoća plinovitog UNP-a  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$ ,

$\rho_{pli}$  – gustoća i-tog sastojka plina  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$ ,

$r_i$  – volumni udjel i-tog sastojka plina.

Ako je UNP u plinovitom stanju, prema jednadžbi stanja idealnog plina, njegova gustoća, osim o sastavu smjese, ovisi o apsolutnom tlaku i termodinamičkoj temperaturi smjese.

Gustoća UNP u plinovitom stanju je veća od gustoće zraka, tako da on u zatvorenim prostorijama, kada nema molarnog gibanja, pada na dno. Da bi se izbjegla pojava stvaranja eksplozivnih smjesa izvode se otvori za prozračivanje u dnu prostorije da UNP u slučaju neželjenog istjecanja može izlaziti vani.

Specifična težina UNP je broj koji pokazuje koliko puta je gustoća tekućeg UNP-a veća od gustoće vode na 15 °C. Ovaj podatak je potreban kada se određuje najveći obujam punjenja spremnika UNP- a.

Toplinsko rastezanje tekućeg UNP pokazuje promjenu obujma UNP-a s promjenom temperature: povećanjem temperature raste i obujam tekućine i obrnuto. Zbog toplinskog rastezanja i isparavanja tekućeg dijela ne pune se spremnici UNP-a do najvećeg obujma (potreban je prostor za toplinsko širenje i ograničenje porasta tlaka plina nastalog isparavanjem tekućine).

Promjena obujma s promjenom temperature se izražava jednadžbom (2.2):

$$V_t = V_o \cdot (1 + \beta \cdot \Delta t) \quad (2.2)$$

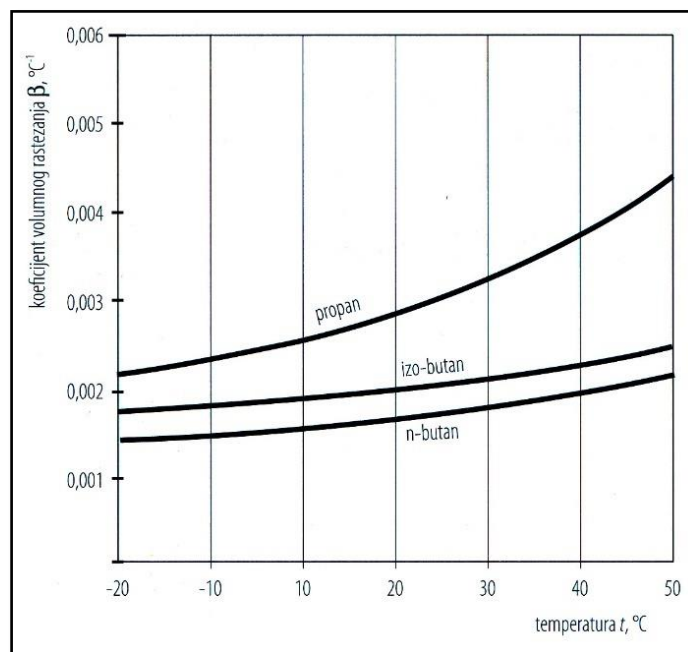
gdje je:

$V_t$  – obujam tekućeg UNP-a na krajnjoj temperaturi  $t$  [ $\text{m}^3$ ],

$\beta$  – koeficijent toplinskog rastezanja tekućeg UNP-a [ $\frac{1}{\text{K}}$ ],

$\Delta t$  – promjena temperature.

Koeficijent toplinskog rastezanja  $\beta$  predstavlja postotnu promjenu obujma pri promjeni temperature za 1 °C. Vrijednost mu se može očitati sa slike 2.3. ispod.



Slika 2.3 Koeficijent prostornog toplinskog rastezanja  $\beta$  sastojaka UNP-a [1]

Toplina isparavanja UNP-a je potrebna toplina da bi se jedinica sadržaja tvari (1 kg, 1 kmol, 1  $\text{m}^3$ ) pri zadanom tlaku prevela iz vrele kapljevine u suhozasićenu paru. Može se izračunati prema izrazu (2.3):

$$q_{iUNP} = \frac{\sum \rho_{teki} r_i q_{teki}}{\sum \rho_{teki} r_i} \quad (2.3)$$

gdje je:

$q_{iUNP}$  – toplina isparavanja (ukapljivanja) tekućeg UNP-a  $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$ ,

$q_{teki}$  – toplina isparavanja (ukapljivanja) i-tog sastojka tekućeg UNP-a  $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$  (podaci prema tablici 2.3),

$\rho_{teki}$  – gustoća i-tog tekućeg sastojka UNP-a pri 15 °C  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$  (podaci prema tablici 2.3),

$r_i$  – volumni udjel i-tog sastojka UNP-a.

Tablica 2.3 Specifične topline isparavanja propana i n-butana ovisno o temperature UNP-a [1]

temperatura $t$ , °C	Specifična toplina isparavanja $q_{isp}$ , kJ/kg	
	propan	n-butan
-60	439,73	440,44
-50	431,53	431,65
-40	423,11	423,28
-30	413,73	413,23
-20	403,39	404,02
-10	392,3	393,55
0	378,65	383,92
10	364,16	373,46
20	348,55	361,73
30	330,92	351,69
40	310,7	339,12
50	289,39	326,56
60	259,16	315,68
70	231,11	301,44

Specifični toplinski kapacitet UNP-a pokazuje koliku je toplinu potrebno dovesti jedinici sadržaja tvari da se njena temperatura poveća za 1 K.



Može se izražavati za tekući ili plinoviti UNP. Ovaj podatak je potreban kada se određuje potrebni maseni ili volumni protok goriva za zagrijavanje.

Vrijednost specifičnog toplinskog kapaciteta za tekuće stanje UNP-a prikazano je izrazom (2.4):

$$c_{UNPt} = \sum c_i \cdot g_i \quad (2.4)$$

gdje je:

$c_{UNPt}$  – specifični toplinski kapacitet tekućeg UNP-a  $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$ ,

$c_i$  – specifični toplinski kapacitet i-tog sastojka tekućeg UNP-a  $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$  (podaci prema tablici 2.4),

Vrijednost specifičnog toplinskog kapaciteta za plinovito stanje UNP-a dano je izrazima (2.5) i (2.6):

$$c_{UNPpl} = \sum c_i \cdot g_i \quad (2.5)$$

$$C_{mUNPpl} = \sum C_{mi} \cdot r_i \quad (2.6)$$

gdje je:

$c_{UNPpl}$  – specifični toplinski kapacitet UNP-a u plinovitom stanju  $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$ ,

$C_{mUNPpl}$  – molarni toplinski kapacitet UNP-a u plinovitom stanju  $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kmolK}} \right]$ ,

$c_i$  – specifični toplinski kapacitet i-tog sastojka tekućeg UNP-a  $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$ ,

$C_{mi}$  – molarni toplinski kapacitet i-tog sastojka tekućeg UNP-a  $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kmolK}} \right]$

$g_i$  – maseni udjel i-tog sastojka UNP-a  $[\text{kg}/\text{kg}_s]$ ,

$r_i$  – volumni udjel i-tog sastojka UNP-a  $[\text{m}^3_i/\text{m}^3_s]$ .

Specifični toplinski kapaciteti za plinovito stanje su pri temperaturi  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  i atmosferskom tlaku prikazani u tablici 2.4. [5], [6]:

*Tablica 2.4 Specifični toplinski kapaciteti butana i propana za plinovito stanje*

Naziv	Sastav	$c_p \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$	$c_v \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$
Butan	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	1,675	1,528
Propan	$\text{C}_3\text{H}_8$	1,630	1,442

Specifični toplinski kapaciteti za tekuće stanje pri  $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  su [7]:

- n Butan 2,31 kJ/kgK
- Propan 2,4 kJ/kgK

### **2.3. Postupak dobivanja UNP – a**

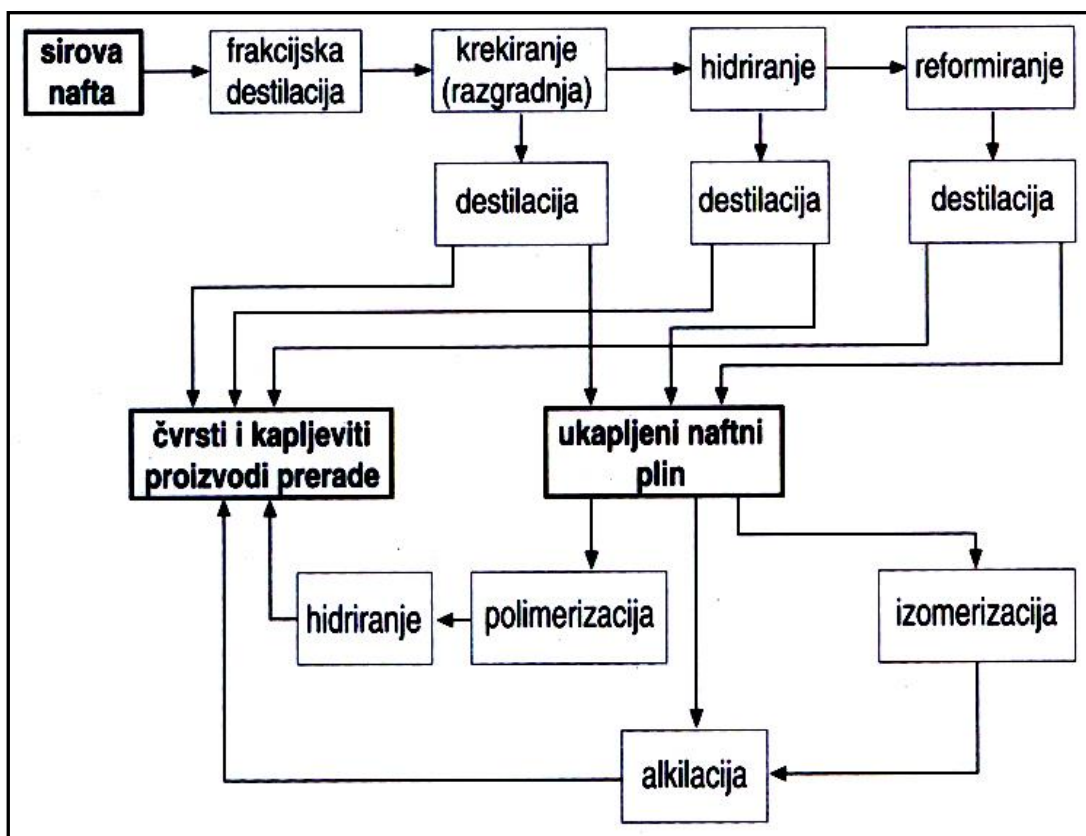
Glavne sirovine za dobivanje UNP-a su prirodni (zemni) plin i nafta. UNP se dobiva primarnom frakcijskom destilacijom sirove nafte ili postupkom degazolinaže.

Viši ugljikovodici u očišćenom plinu, smjesa alkana s 2 do 8 ugljikovih atoma (često nazvana i gazolin), nakon odvajanja metana, razdvaja se u pojedine sastojke niskotemperaturnom destilacijom (tzv. degazolinaža), i to apsorpcijskim ili ekspanzijskim postupkom.

Apsorpcijski postupak temelji se na apsorpciji viših ugljikovodika, najčešće u plinskom ulju (naftna frakcija s vrelištem 200 do 360  $^\circ\text{C}$ ) pri niskim temperaturama, te na njihovu postupnom odvajanju zagrijavanjem i destilacijom. Prvo se izdvaja neapsorbirani metan, a blagim zagrijavanjem i etan. Postupnim zagrijavanjem apsorpcijskog ulja ili destilacijom vodenom parom (stripiranje) odvajaju se ostali sastojci, koji se zatim u potpunosti razdvajaju u destilacijskim kolonama. Tako se zasebno dobivaju propan, butan i viši ugljikovodici (laki benzin), a plinsko se ulje vraća u apsorpcijsku kolonu.

Ekspanzijski postupak temelji se na izdvajanju viših ugljikovodika hlađenjem adijabatskom ekspanzijom. Plin se tlači na približno 40 bara, zatim se hladi, najčešće preko izmjenjivača topline s ukapljenim propanom (pri  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) i ekspandira na približno 10 bara, pri čemu se ohladi na temperaturu od približno  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  i ukapljuje. Metan se odvaja (demetanizacija), a ukapljeni se sastojci, uz postupno smanjenje tlaka, frakcijski razdvajaju na etan, propan, butan i višu frakciju (laki benzin).

Smjesa propan/butan pri normalnim je uvjetima u plinovitom stanju, dok je pri povišenom tlaku kapljevin; naziva se ukapljeni naftni plin (engl. *Liquified Petroleum Gas*, akr. LPG) i služi kao gorivo za industriju i kućanstva, u koja se dostavlja u plinskim bocama pod tlakom od 20 do 25 bara. Viši ugljikovodici (tzv. stabilizirani gazolin) dodaju se motornim benzinima. [8]



Slika 2.4 Shema postupka dobivanja UNP-a [3]

## 2.4. Prednosti i nedostaci korištenja ukapljenog naftnog plina (UNP)

Neke prednosti UNP-a su:

- Izgara čistim plamenom (produkti izgaranja su  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ ) uz male gubitke topline pri izgaranju.
- Lako se mijenjaju i podešavaju temperatura i tlak smjese sukladno potrebama primjene.
- Može se kombinirati s drugim gorivima.
- Mali postotak štetnih sastojaka (npr. sumpora), pa se njegovim korištenjem smanjuje ispuštanje štetnih sastojaka u okoliš.
- Njegov koeficijent volumnog širenja po skladišninom prostoru, prema raspoloživoj energiji koju daje, znatno je veći od koeficijenta drugih goriva.
- Sigurnost u rukovanju plinskim uređajima i jednostavno održavanje plinskih instalacija.
- Laka i ekonomična proizvodnja.
- Jednostavno skladištenje.

Glavni nedostaci UNP-a su:

- Zapaljivost i eksplozivnost: temperatura samozapaljenja mu je oko  $500^\circ\text{C}$ , donja ogrjevna vrijednost oko  $100 \text{ MJ/m}^3$ , tako da zahtijeva brižljivu upotrebu s obzirom na posljedice na okolinu pri eksploziji ili samozapaljenju.
- Skuplji je nego prirodni plin.
- Ima manju ogrjevnost (po masi) nego prirodni plin (za prirodni plin  $H_d = 54 \text{ MJ/kg}$ ) i za dobro izgaranje zahtijeva različit omjer smjese zrak – plin (propan, 24:1; butan, 30:1).
- Sastav se često prilagođava sezonskim uvjetima – zimi veći udjeli propana, ljeti butana.
- Kao nedostatak korištenja je cijena početnog troška opreme, odnosno složenija oprema nego kod čvrstih i tekućih goriva, veći sigurnosni rizici i veća zahtijevana pažnja pri korištenju.

### 3. OPREMA ZA UKAPLJENI NAFTNI PLIN

#### 3.1. Osnovni pojmovi

Osnovni pojmovi su preuzeti iz Pravilnika o ukapljenom naftnom plinu bez ikakvih izmjena [4].

- **Ukapljeni naftni plin** (u daljnjem tekstu: UNP) su naftni ugljikovodici (propan, propen, butan, buten i njihovi izomeri i drugi ugljikovodici) i njihove smjese u tekućem ili plinovitom stanju, čiji parni tlak prelazi 1,25 bar pri 40 °C, koji odgovaraju hrvatskim normama.
- **Parni tlak** je tlak para UNP-a pri 40 °C u uravnoteženom stanju s tekućinom.
- **Najveći radni tlak** je najveći dozvoljeni unutrašnji tlak pri 40 °C za koji je posuda konstruirana ili najveći unutrašnji radni tlak koji odobrava nadležna inspekcija.
- **Ispitni tlak** je unutrašnji tlak koji je za 50% veći od najvećeg dozvoljenog radnog tlaka pri 40 °C.
- **Spremnik za UNP** je svaka zatvorena posuda izrađena i odobrena za punjenje UNP-om u skladu s propisima o tlačnoj opremi.
- **Stabilni spremnik za UNP** je spremnik za UNP volumena iznad 6,4 m<sup>3</sup>.
- **Mali spremnik za UNP** je stabilni spremnik za UNP volumena do 6,4 m<sup>3</sup>.
- **Prijenosni spremnik** je spremnik za UNP specijalno izgrađen i opremljeni za prijevoz i uskladištavanje UNP-a.
- **"SKID" jedinica** je spremnik UNP-a postavljen na zajedničko postolje s agregatom za istakanje i potrebnom opremom tako da se može sigurno transportirati i koristiti.
- **Boca za UNP** je prijenosna posuda izrađena u skladu s propisima o tlačnoj opremi.
- **Oprema spremnika UNP-a** je skup uređaja izrađenih i odobrenih u skladu s propisima o tlačnoj opremi koji zajedno sa spremnikom UNP-a predstavljaju jednu tehnološku cjelinu.

- **Zapremina spremnika** je slobodni unutarnji prostor spremnika (koji bi popunila voda) pri normalnom tlaku atmosfere  $p_n = 1\,013,25$  mbar i temperaturi  $t_n = 0$  °C i izražava se u kubičnim metrima ( $m^3$ ) ili litrama (l).
- **Isparivač** je uređaj za isparavanje UNP-a.
- **Pokazivalo razine** je uređaj koji pokazuje razinu tekuće faze UNP-a u posudi.
- **Primarni regulacijski krug** su uređaji na instalaciji ili postrojenju za UNP, koji su pod tlakom jednakim ili većim od tlaka u spremniku.
- **Sekundarni regulacijski krug** su svi uređaji na instalaciji ili postrojenju na UNP, iza prvostupanjske regulacije tlaka, koji su pod tlakom manjim od tlaka u spremniku.
- **Prvostupanjska regulacija tlaka** su uređaji za regulaciju tlaka UNP-a, koji mogu reducirati tlak u tekućoj ili parnoj fazi UNP-a.
- **Drugostupanjska redukcija i regulacija tlaka** su uređaji za regulaciju tlaka na radni tlak trošila.
- **Uređaj za miješanje** je postrojenje koje se rabi za miješanje isparenog UNP-a sa zrakom prije njegove distribucije i potrošnje.
- **Stupanj punjenja** je postotni odnos težine UNP-a u posudi i težine vode, što bi je ta posuda sadržavala na temperaturi od 15 °C.
- **Pretakalište** je posebno uređeno mjesto za pretakanje opremljeno trajno postavljenom opremom za pretakanje i na kojem se ograničeni broj auto cisterni, vagon cisterni, prijenosnih spremnika i/ili tankera puni i/ili prazni po točno određenim postupcima.
- **Pristupni put** je put odnosno kolosijek predviđen za pristup prijevoznih cisterni pretakalištu, koji je sastavni dio pretakališta.
- **Mjesto za istakanje UNP-a** je prostor na kojem se obavlja istakanje UNP-a iz jedne auto cisterne u spremnike za koje nije potrebna trajno postavljena oprema za pretakanje.
- **Hvatač iskri** je odobren odnosno ispitan uređaj za sprječavanje iskri iz ispušnih plinova motora s unutarnjim izgaranjem.

- **Sigurnosni uređaj** je sigurnosni ventil ili druga naprava koja štiti dijelove postrojena od tlaka iznad propisanih vrijednosti.
- **Tlak otvaranja sigurnosnog ventila** je tlak pri kojemu počinje otvaranje ventila i ispuštanje UNP-a. On mora biti do 10% veći od najviše dozvoljenog radnog tlaka posude odnosno cjevovoda na kojemu je sigurnosni ventil instaliran.
- **Zaporni organ** je ventil za zatvaranje, zasun, slavina ili slični uređaj postavljen na postrojenju za zatvaranje tekuće ili parne faze UNP-a.
- **Ventil protiv loma** cijevi je ventil što odvaja dijelove postrojenja (posude i cjevovode) automatskim zatvaranjem protoka UNP-a u slučaju loma spoja ispred njega i ne može se smatrati zapornim ventilom.
- **Pokazivalo protoka** je uređaj za pokazivanje protoka tekuće faze UNP-a.
- **Regulator razine** je uređaj koji regulira visinu razine tekuće faze UNP-a.
- **Djelotvorna ventilacija** je ventilacija na otvorenom kao i u prostoru koja u normalnom pogonu onemogućava stvaranja koncentracije UNP-a u zraku većeg od 10% od donje granice eksplozivnosti gdje se isključuje neposredna okolica sekundarnog izvora.
- **Moguće mjesto istjecanja UNP-a** je svaki otvor na spremniku, isparivaču ili boci koji nije trajno zatvoren čepom ili prirubnicom i koji je moguće otvoriti bez upotrebe alata.
- **Sigurnosno-ispusni ventili** (SIV) su uređaji koji se kod prekoračenja radnog tlaka aktiviraju ispuštanjem UNP-a do ponovnog uspostavljanja radnog tlaka.
- **Sigurnosno-zaporni ventili** (SZV) su uređaji koji su u normalnom pogonu otvoreni i imaju zadatak da automatski zatvore dotok UNP-a u slučaju da tlak u štíćenom sustavu dostigne gornju ili donju vrijednost aktiviranja i oni se ne otvaraju automatski nakon zatvaranja.
- **Dobavljač UNP-a** je pravna osoba ili obrtnik koji korisnika opskrbljuje UNP-om putem vagon i/ili auto cisterni i/ili boca, a koji je registriran, opremljen i kadrovski osposobljen za obavljanje te djelatnosti.
- **Prodavač UNP-a u bocama** je pravna osoba ili obrtnik koja prodaje boce po ovlaštenju i pod nadzorom dobavljača.

- **Korisnik** je svaka pravna ili fizička osoba ili obrtnik koja koristi UNP u postrojenju za UNP.
- **Zaštitni pojas** je površina određena sigurnosnim udaljenostima mjerenim vodoravno u svim pravcima od postrojenja za UNP.
- **Ventil za zatvaranje** u slučaju opasnosti služi za blokadu sustava cjevovoda u opasnim situacijama.
- **Postrojenje za UNP** je sustav koji se sastoji od spremnika i/ili posuda te instalacija i uređaja za proizvodnju, preradu, prijenos, pretakanje i/ili uporabu UNP-a, sustava za upravljanje i nadziranje sigurnog odvijanja tehnološkog procesa, stabilnih sustava za dojavu i gašenje požara i drugih instalacija i uređaja što zajedno čine tehnološku cjelinu.

### 3.2. Spremnici za UNP

Prema Pravilniku za UNP [4] spremnici su:

- **stabilni** (podzemni i nadzemni) obujma većeg od  $6,4 \text{ m}^3$  koji se, prema obliku, razlikuju kao:
  - valjkasti (vodoravni ili uspravni),
  - kuglasti.

Podzemni spremnici mogu biti samo valjkasti i vodoravni (ležeći).

- **Mali** obujma manjeg od  $6,4 \text{ m}^3$  namijenjeni za skladištenje i potrošnju UNP-a, te iznimno punjenje boca UNP-a mase do 5 kg. Ovi spremnici se pune iz auto cisterni.
- **Prijenosni** namijenjeni za skladištenje i potrošnju UNP-a, te iznimno punjenje boca UNP-a mase do 5 kg. Za razliku od malih spremnika pune se kod dobavljača UNP-a ili na mjestu postavljanja.
- **"SKID" jedinice** čija je namjena opskrba UNP-om pokretnih vozila pogonjenih na UNP (automobili, viličari, autobusi ...). SKID jedinica je samostalna ili je dio benzinske crpke. "Pune se na mjestu postavljanja, iz autocisterne. Na "SKID" jedinicu mogu se serijski vezati do dva dodatna spremnika UNP-a tako da ukupni obujam spremnika nije veći od  $15 \text{ m}^3$ .

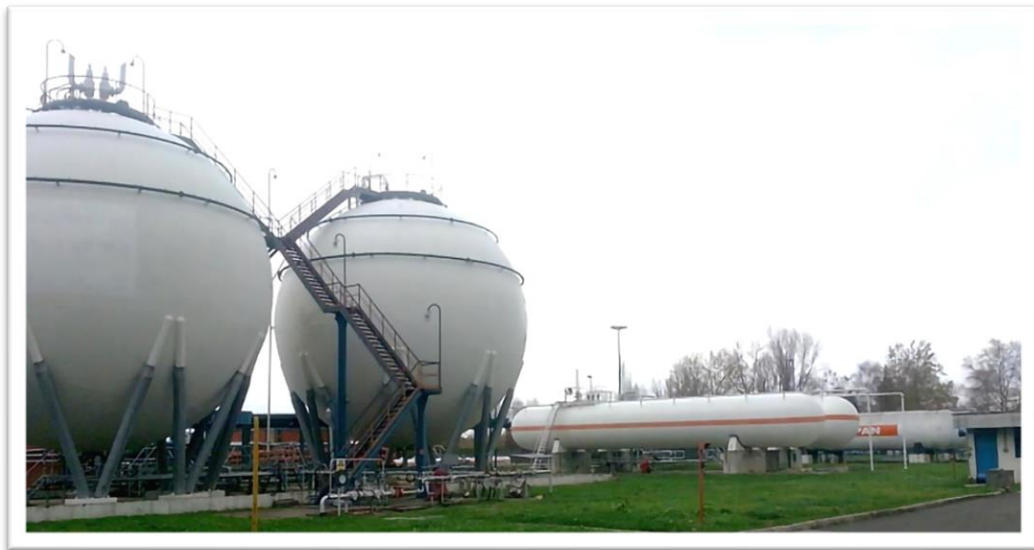


### 3.2.1. Stabilni spremnici za UNP

Sigurnosne udaljenosti stabilnih spremnika određuju se prema tablici 3.1. [4]

*Tablica 3.1 Sigurne udaljenosti stabilnih UNP spremnika od susjednih objekata*

Ukupni obujam spremnika (m <sup>3</sup> )	Sigurnosna udaljenost spremnika do susjednih objekata, javnog puta ili javne površine mjerena od gabarita nadzemnog ili okna podzemnog spremnika (m)		Sigurnosna udaljenost između spremnika (m)	
	nadzemni	podzemni	nadzemni	podzemni
6,4 – 100	5	5	2,0	1,0
101 – 500	20	15	2,0	1,0
500 – 1 000	50	20	2,5	2,0
1 001 – 3 000	75	25	2,5	2,0



*Slika 3.1 Kuglasti (lijevo) i valjkasti vodoravni nadzemni stabilni spremnici (desno) [9]*

Nadzemni stabilni spremnici se, u pravilu, postavljaju izvan građevnih objekata, na najmanje na dva temelja, vatrootpornosti od najmanje 2 sata. Spojevi spremnika i temelja zaštićeni su od rđanja, izvedeni tako da omogućavaju slobodno toplinsko širenje (skupljanje). Jedan od temelja je s nagibom od 0,5% do 1% u smjeru drenažnog otvora.

Spremnici se ne smiju postavljati ispod razine zemljišta, nije dopušteno opterećivanje plašta spremnika, a spremnici moraju biti obojeni svijetlom reflektirajućom bojom. Nadzemni stabilni spremnici pregledavaju se sukladno propisanim postupcima najmanje dva puta godišnje od strane korisnika o čemu se vodi dokumentacija.

Ako ukupni obujam dva ili više nadzemnih stabilnih spremnika prelazi 3 000 m<sup>3</sup>, spremnici moraju biti grupirani u skupine spremnika zapremine do 3 000 m<sup>3</sup> tako da međusobna udaljenost skupina spremnika bude najmanje 50 m.

Priključci za punjenje i pražnjenje stabilnih nadzemnih spremnika moraju imati postavljene natpise iz kojih se vidi da li su spojeni s parnom ili tekućom fazom spremnika.

Na nadzemnim stabilnim spremnicima odušne cijevi sigurnosnih uređaja postavljaju se tako da se njihov završetak nalazi na najmanje 2 m iznad gornje razine plašta spremnika, ne smiju se zatvarati poklopcima i usmjeravati naniže (isključivo uspravno). Spremnici moraju biti zaštićeni od svih udara i oštećenja na mjestima na kojima su udari i oštećenja moguća.

Stabilni nadzemni spremnici od izvora topline i požara štite se, u ovisnosti od njihovog obujma, stabilnom instalacijom za hlađenje, hidrantskom mrežom i vatrogasnim aparatima (za obujme 15 do 30 m<sup>3</sup>) i vatrogasnim aparatima (za pojedinačne spremnike ukupnog obujma do 15 m<sup>3</sup>). Hidrantska mreža mora imati kapacitet vode od 10 litara u sekundi u trajanju od najmanje 2 sata. Hidranti se ne smiju postavljati bliže od 25 m niti dalje od 35 m od gabarita spremnika. Pristup vatrogasnih vozila stabilnim nadzemnim spremnicima kao i priključenje na hidrante mora se osigurati iz najmanje dva smjera.

Podzemni stabilni spremnici su ukopani spremnici ili spremnici postavljeni u komore, tako da se razina plašta nalazi najmanje 60 cm ispod razine zemljišta, te spremnici smješteni u prirodne podzemne šupljine u kojima geološki uvjeti to dopuštaju. Svi spremnici smatraju se podzemnim spremnicima ako su u potpunosti prekriveni slojem pijeska i zemlje ukupne debljine najmanje 60 cm, izuzev okna spremnika. Pri određivanju dubine ukopavanja mora se voditi računa i o dubini smrzanja tla. Podzemni spremnici moraju biti osiguran od pomicanja i sila uzgona podzemnih voda. Podzemni spremnici imaju na plaštu zavarene ušice za dizanje, zavarene na spremnik prije njegova ispitivanja.



*Slika 3.2 Podzemni valjkasti spremnici, prije i nakon ugradnje*

Ako ukupni obujam dva ili više podzemnih spremnika veći od 3 000 m<sup>3</sup>, spremnici moraju biti grupirani u skupine spremnika na isti način kao što su to nadzemni stabilni spremnici.

Prije ukapanja i zatrpavanja pijeskom komora podzemnog spremnika, moraju biti ispunjeni ovi uvjeti:

- spremnik je izrađen i opremljen za podzemnu ugradnju,
- spremnik je ispitan nakon postavljanja,
- vanjske površine spremnika su zaštićene od korozije,
- komora izvedena nepropusno na spoju dna i okomitih zidova,
- dno komore izvedeno u nagibu od najmanje 1% prema taložniku,
- u komori je osigurano djelotvorno provjetravanje ako komora nije zapunjena pijeskom.

Iznad podzemnih spremnika ne mogu se graditi drugi objekti ili putevi, niti se oni smiju postavljati jedan iznad drugoga. Svi priključci na podzemnom spremniku moraju se nalaziti na gornjoj strani spremnika, u pravilu, na ulaznom otvoru ili na posebnom pristupačnom mjestu, osim usisnog priključka za pumpu koji se može nalaziti i s donje strane spremnika.

Krajevi odušne cijevi sigurnosnih ventila podzemnih spremnika moraju se nalaziti na visini od najmanje 2,0 m iznad okolnog zemljišta.

Podzemni spremnik mora biti štice od požara hidrantskom mrežom i vatrogasnim aparatima za početno gašenje požara. Uvjeti za hidrantsku mrežu i vatrogasne aparate su isti kao za nadzemne spremnike.

### 3.2.2. Mali spremnici za UNP

Mali spremnici UNP-a namijenjeni su za skladištenje i potrošnju UNP-a (kuće, radionice, poslovni prostori i sl.), iznimno, za punjenje boca za UNP količine do 5 kg ili za punjenje spremnika prijevoznih sredstava sukladno odredbama Pravilnika o UNP [4]. Osnovni dijelovi malog valjkastog spremnika UNP-a prikazani su na slici 3.7.

Izvode se kao nadzemni, podzemni i djelomično ukopani. Mali spremnici UNP-a pune se na mjestu postavljanja, iz autocisterne, prema uvjetima Pravilnika i uputama dobavljača, pri čemu je korisnik obavezan osigurati cjelovito provođenje propisanih mjera zaštite od požara i eksplozija. Dobavljač UNP-a obavezan je korisnicima malih spremnika UNP-a dati pisane upute o postupcima za siguran rad, održavanje i sprječavanje nastanka i širenja požara i eksplozije pri uporabi te upute o postupcima gašenja i spašavanja.

Nadzemni mali spremnici UNP-a postavljaju se na otvoreni prostor ili na prostor pokriven laganim krovom, pojedinačno ili u grupi, tako da njihova ukupna zapremnina ne prelazi 15 m<sup>3</sup>. Iznimno, nadzemni mali spremnici UNP-a mogu se postaviti za to namijenjen objekt, pod uvjetom da ukupni obujam ne prelazi 6,4 m<sup>3</sup>. Ovo je obično najjeftinije rješenje postavljanja spremnika.

Podzemni spremnici postavljaju se izvan građevina i prilaza građevinama i mjesto njihovog postavljanja mora biti označeno trajnim i dobro vidljivim znakom zabrane odlaganja ili skladištenja bilo kojeg materijala i prolaza vozila. Primijenit će se kada nema dovoljno mjesta za nadzemni spremnik ili kada se ne želi da spremnik bude vidljiv.

Djelomično ukopani spremnici se izvode u slučajevima kada nije mogu potpuno ukopavanje spremnika (npr. radi podzemnih voda).

Mali spremnici moraju biti uzemljeni. Krajevi odušne cijevi sigurnosnih ventila trebaju se nalaziti na visini od najmanje dva metra iznad okolnog zemljišta osim kod spremnika koji imaju odobrena drugačija tehnička rješenja. Kod podzemnih spremnika svi uređaji i instalacije koji ne pripadaju spremniku moraju biti udaljeni najmanje 1 m od spremnika.

Sigurnosni razmaci nadzemnog malog spremnika i okolnih objekata navedeni su u tablici 3.2. Ako je izgrađen sigurnosni zid prema zahtjevima Pravilnika dane vrijednosti se mogu prepoloviti.

*Tablica 3.2 Sigurnosne udaljenosti od nadzemnog spremnika*

<b>Sigurnosna udaljenost</b>	<b>Od priključaka i sigurnosnih ventila (m)</b>	<b>Od plašta spremnika (m)</b>
Ulaza u zgradu potrošača ili ulaza susjednih zgrada	3	1,5
Granice susjednog zemljišta	3	3
Otvora prostora koji su ispod razine zemljišta	3	3
Otvora kanalizacije koji nisu štice vodenim zaporom	3	3
Otvorenog plamena ili drugog izvora topline	3	3
Autocisterne pri pretakanju UNP-a	3	1,5
Okna podzemnog spremnika za naftne derivate	3	1,5
Javnog puta, željezničke pruge, vodenog puta	3	3

Za podzemne male spremnike sigurnosne udaljenosti iz tablice 3.2 se umanjuju za 50%.

Podzemni mali spremnik može se postaviti na udaljenosti od najmanje 1 m od građevine ako ta građevina ne predstavlja požarnu opasnost za spremnik, a zidovi temelja su puni i plinonepropusni.

Ako se pravi zaštitni zid za nadzemne male spremnike, on mora biti izveden od negorivih materijala (klasa A prema HRN DIN 4102) tako da, gledajući iz smjera mogućeg požara po visini i širini plamena, visina zaštitnog zida na udaljenosti od 0,6 m od spremnika mora nadvisiti za 0,5 m najvišu točku spremnika, a dužina zida mora veća od najveće pretpostavljene širine požara.

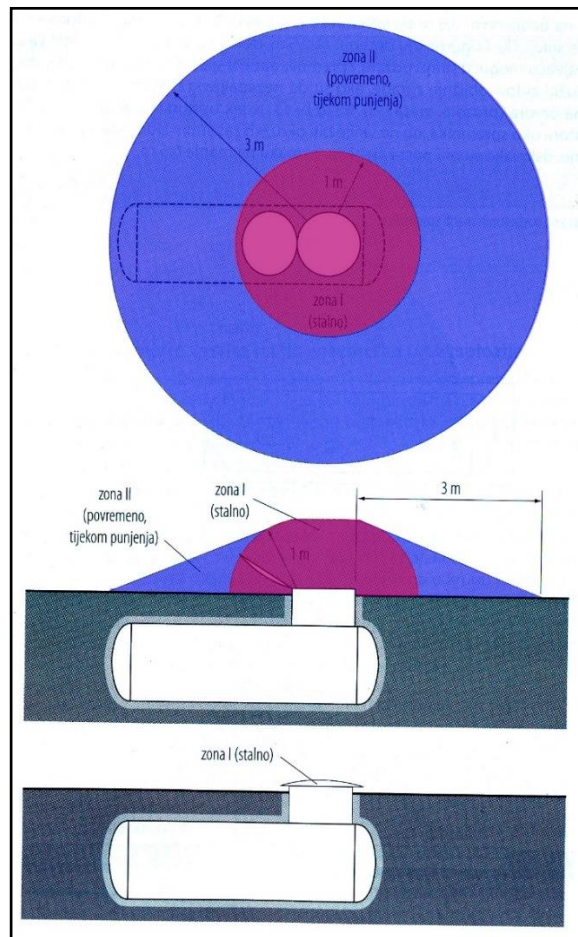
Oko malih spremnika UNP-a u svim slučajevima treba osigurati slobodan prostor širine najmanje 0,6

m (npr. rastojanje između spremnika, udaljenost od zaštitnog zida, zida zgrade bez otvora i dr.), a ispod spremnika visine najmanje 0,1 m. Radi pravilnog provjetravanja mali spremnik smije biti okružen s najviše dva zaštitna zida.

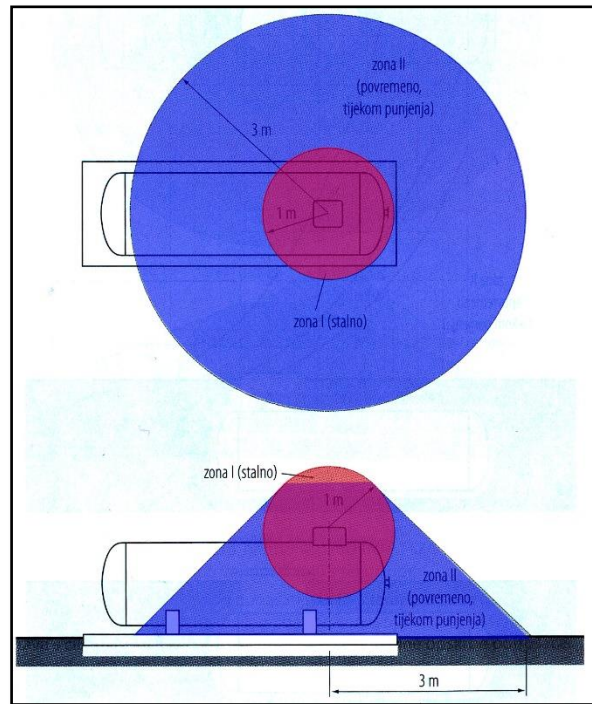
Područja opasnosti oko malih spremnika UNP-a:

- prvo područje – oko priključnih ventila unutar zaštitne kape; ovdje nikada ne smije biti izvora zapaljenja,
- drugo područje – iznosi 1 m vodoravno oko ventila i priključaka te 1 m sferno iznad i kupasto ispod do kružnice na tlu polumjera 3 m; ovdje tijekom punjenja i pretakanja ne smije biti izvora zapaljenja.

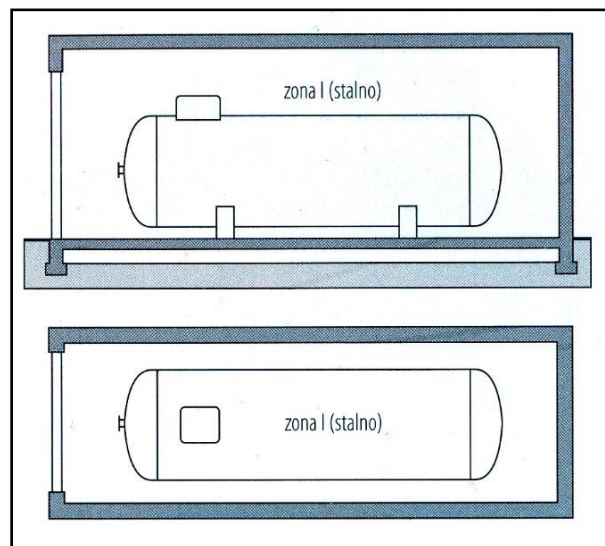
Područja opasnosti različitih malih spremnika prikazana su na slikama niže (3.3, 3.4, 3.5 i 3.6).



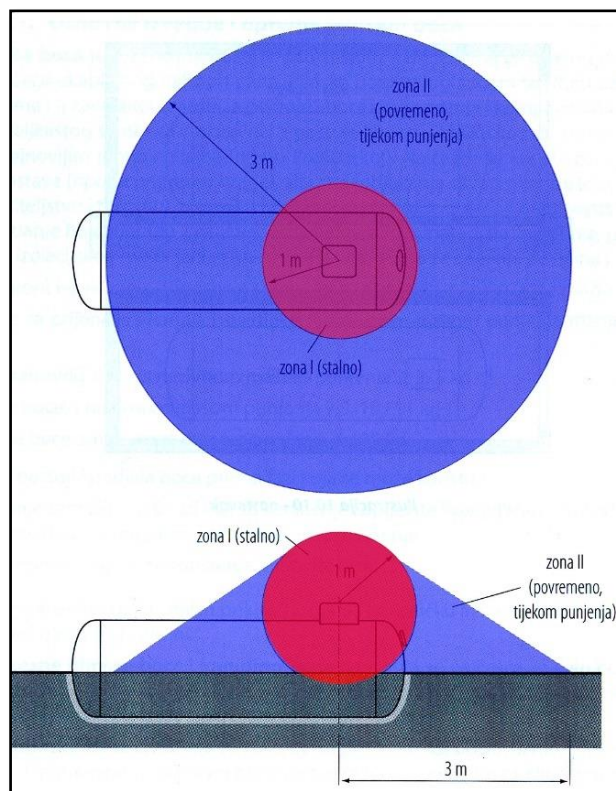
Slika 3.3 Područja opasnosti malih podzemnih spremnika [1]



Slika 3.4 Područja opasnosti malih nadzemnih spremnika [1]



Slika 3.5 Područja opasnosti spremnika u posebnim građevinama [1]



*Slika 3.6 Područja opasnosti djelomično ukopanih malih spremnika [1]*

Punjenje malih spremnika UNP-a obavlja se na mjestu postavljanja iz dostavnog vozila (autocisterne) dobavljača UNP-a, neposrednim priključkom na spremniku ili preko posebno izvedenoga fiksnog priključka kada nije zajamčena sigurnost i potpuna kontrola punjenja priključkom na spremniku. Fiksni priključak za punjenje mora biti udaljen najmanje 1 m od ruba javnog puta i zaštićen u nezapaljivom zaključanom kućištu, osiguran nepovratnim ventilom od nekontroliranog istjecanja UNP-a u slučaju oštećenja cijevi.

Punjenje se smije obavljati ako spremnik ima odobrenje za uporabu količinom do 85% tekuće faze njegovog obujma. Prije početka, za vrijeme i nakon punjenja, oko mjesta punjenja mora se osigurati prostor od najmanje 3 m slobodan od zapaljivih tvari i opreme i označiti vidljivim znakovima upozorenja da je u tijeku punjenje spremnika.

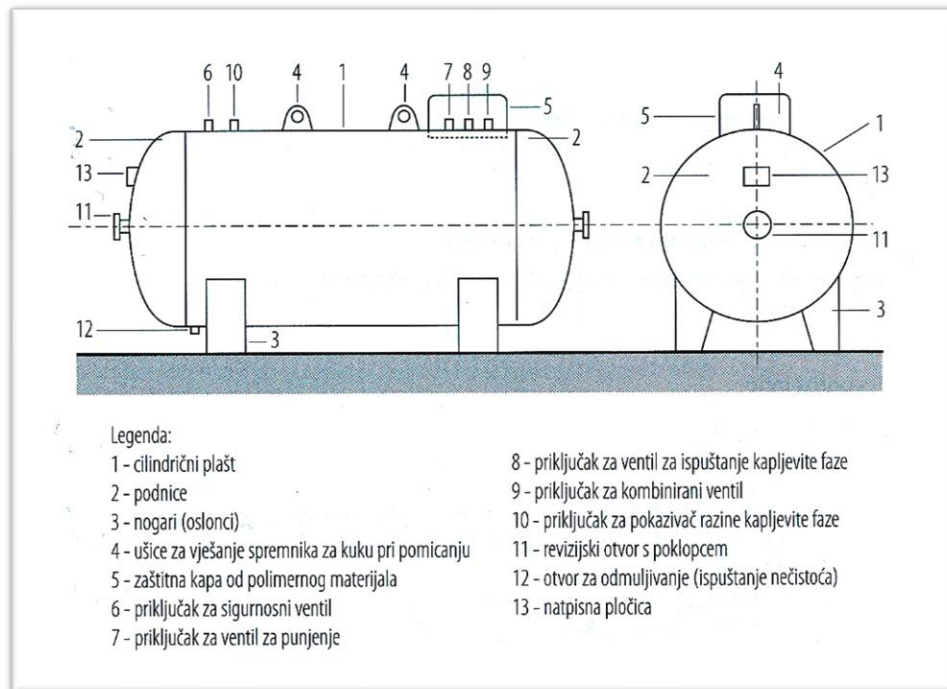
Iznimno, dobavljač UNP-a može izvršiti punjenje malog spremnika korisnika i s javne prometnice u uvjetima normalne vidljivosti. Iza i ispred autocisterne postavlja se trokut i žuto upozoravajuće



trećuće svjetlo. Udaljenost između znakova obilježavanja i autocisterne je minimalno 100 metara na ravnom dijelu ceste, odnosno na krajnjoj točki vidljivosti.

Za vrijeme punjenja moraju se u pripravnosti držati najmanje 2 vatrogasna aparata S-6. Kontrolu uvjeta sigurnosti, priključenje i rastavljanje spojnih uređaja pri punjenju malih spremnika UNP-a obavljaju djelatnici dobavljača UNP-a i koji moraju biti stalno nazočni punjenju. Punjenje UNP-a neće se obaviti ako nisu ispunjeni uvjeti sigurnosti propisani ovim Pravilnikom.

Na slici 3.7. prikazani su osnovni dijelovi i priključci malog spremnika UNP-a, bilo za nadzemnu ili podzemnu ugradnju.



Slika 3.7 Osnovni dijelovi i priključci malog valjkastog spremnika UNP-a

## 4. ENERGETSKA OBNOVA DJEČJEG VRTIĆA

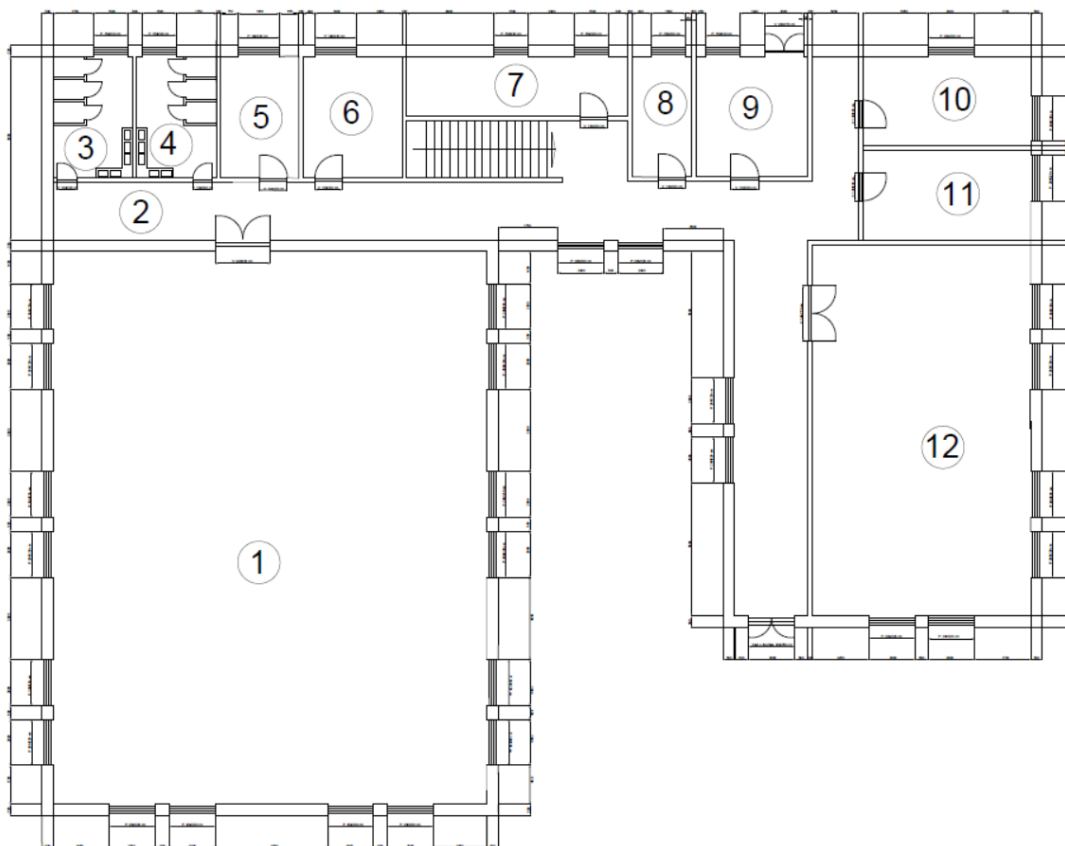
### 4.1. Opis objekta i mjere energetske obnove

Na temelju zadane arhitektonske podloge, zgrada dječjeg vrtića u Zadru ima dvije etaže (prizemlje i prvi kat) te je orijentirana prema jugu. Visina prizemlja iznosi 3,25 m dok je visina prvog kata 2,75 m. Zgrada ima 24 prostorije ukupne površine 1778,3 m<sup>2</sup>. Pod prizemlja je u razini okolnog prostora. Kako se radi o dječjem vrtiću, zgrada ima veliki udio površine prozora kako bi se čim bolje iskoristilo dnevno osvjetljenje i kako bi dobici od sunčeva zračenja bili čim veći. Sve prostorije dječjeg vrtića su grijane, osim spremišta i kotlovnice. Prizemlje zgrade formirano je od sportske dvorane, hodnika, sanitarija, svlačionice, ureda, spremišta, kotlovnice te dvorane za predstave kako je prikazano tablicom 4.1 i slikom 4.1. Prvi kat sastoji se od prostorija za vrtićke skupine, hodnika, kuhinje, sanitarija te prostorija za jaslice kako je prikazano tablicom 4.2 i slikom 4.2.

U tablicama 4.1 i 4.2 je prikazan popis prostorija prizemlja i prvog kata te su navedene usvojene projektne temperature svake prostorije. Brojevi ispred prostorija odgovaraju brojevima na priloženim tlocrtima.

*Tablica 4.1 Projektne temperature prizemlja*

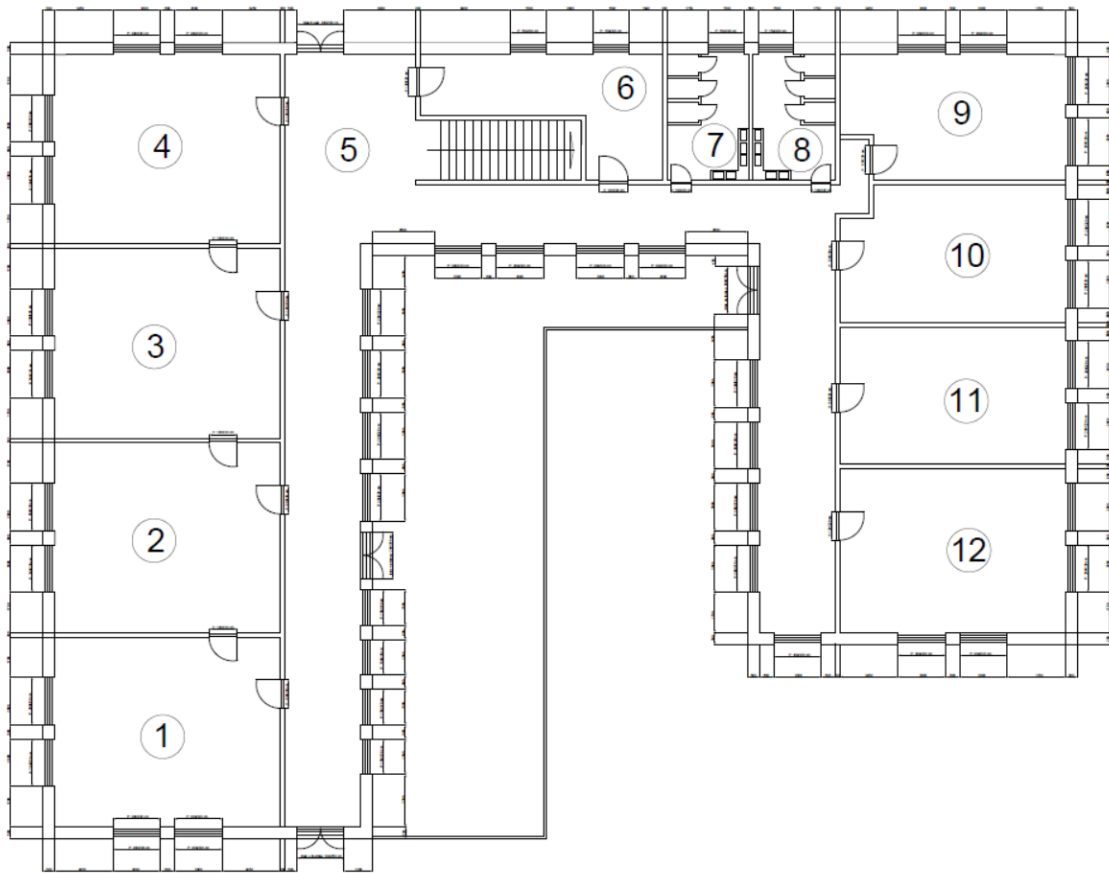
Br. prostorije	Naziv prostorije	Projektna temperatura [°C]
1	Sportska dvorana	22
2	Hodnik	22
3	Sanitarije (lijevo)	20
4	Sanitarije (desno)	20
5	Svlačionica	22
6	Ured 1	22
7	Ured 2	22
8	Spremište	15
9	Kotlovnica	15
10	Ured 3	22
11	Ured 4	22
12	Dvorana za predstave	22



Slika 4.1 Tlocrt prizemlja vrtića

Tablica 4.2 Projektne temperature prvog kata

Br. prostorije	Naziv prostorije	Projektna temperatura [°C]
1	Prostorija 4: Vrtićka skupina 4	22
2	Prostorija 3: Vrtićka skupina 3	22
3	Prostorija 2: Vrtićka skupina 2	22
4	Prostorija 1: Vrtićka skupina 1	22
5	Hodnik	22
6	Kuhinja	18
7	Sanitarije (lijevo)	20
8	Sanitarije (desno)	20
9	Prostorija 5: Jaslice 1	22
10	Prostorija 6: Jaslice 2	22
11	Prostorija 7: Jaslice 3	22
12	Prostorija 8: Starije jaslice	22



*Slika 4.2 Tlocrt prvog kata vrtića*

U cilju energetske obnove dječjeg vrtića korištene su sljedeće mjere:

- toplinska izolacija vanjskih zidova ( 10 cm kamene vune) i ravnog krova ( 14 cm kamene vune) te zamjena starih prozora novima čime je postignuto značajno smanjenje koeficijenta prolaza topline.
- Rekonstrukcija kotlovnice, tj. instalacija modernijeg i energetski učinkovitijeg sustava centralnog grijanja (plinski kondenzacijski kotlovi) i pripreme potrošne tople vode na ukapljeni naftni plin.

## 4.2. Izolacija vanjske ovojnice objekta

Vanjska ovojnica je međusklop korisnika zgrade te okoliša i ima najveći utjecaj na kvalitetu energetske učinkovitosti zgrade. Ona ima iznimno važno značenje za funkcionalnost i energetske potrebe objekta te mikroklimatske uvjete unutar zgrade.

Građevne elemente koji čine vanjsku ovojnicu zgrade opisujemo svojstvima kojima određujemo dinamičke značajke elemenata, a to su specifični toplinski kapacitet, toplinska vodljivost te gustoća. Veličina koja povezuje navedena svojstva je koeficijent temperaturene difuzivnosti prikazana jednadžbom 4.1. Koeficijent temperaturene difuzivnosti definira toplinsku tromost objekta, odnosno brzinu kojom će objekt reagirati na promjenu vlastite temperature po ukupnom volumenu u odnosu na pobudu iz okoline.

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right] \quad (4.1)$$

gdje je:

$\lambda$  – koeficijent toplinske vodljivosti  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$ ,

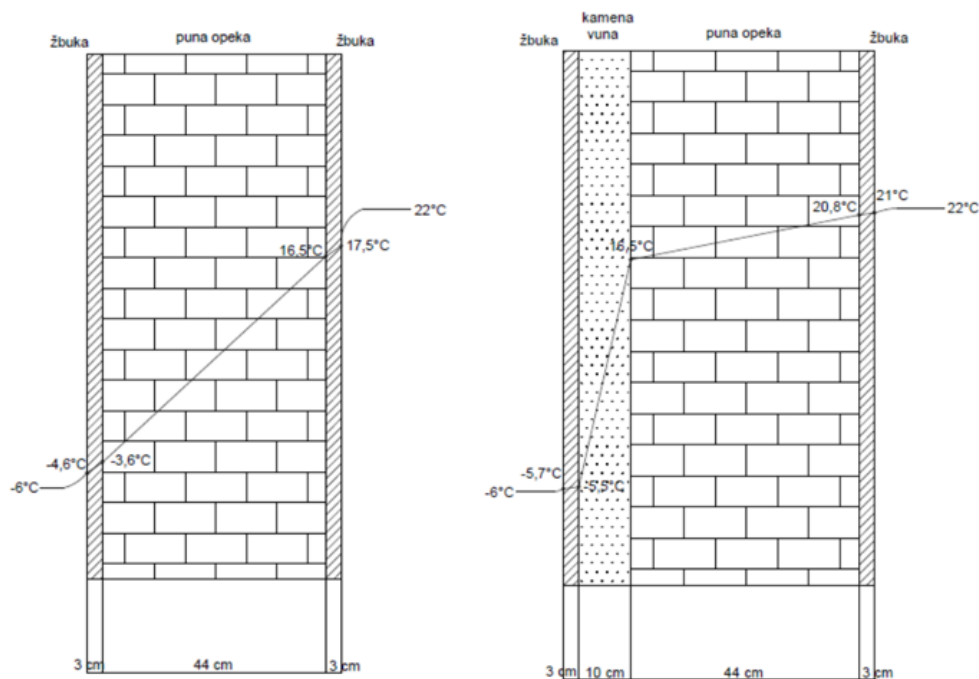
$\rho$  – gustoća  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ ,

$c$  – specifični toplinski kapacitet  $\left[ \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right]$ .

Kako bi se čim više smanjile oscilacije temperature zraka unutar zgrade, ispred građevinskih elemenata koji čine vanjsku ovojnicu zgrade, postavlja se zahtjev toplinske stabilnosti. Toplinska stabilnost je svojstvo očuvanja relativno konstantne temperature na unutarnjoj strani građevnog elementa tijekom promjena temperature vanjskog zraka, a ako ona nije adekvatna temperatura zraka u objektu će značajno varirati ovisno o vanjskoj temperaturi zraka.

Pretpostavka koju usvajamo za toplinsku stabilnost jest da se temperatura vanjskoga zraka te toplinski tok kroz samu površinu građevnog elementa mijenjaju prema zakonu kosinusoide. Time smo odredili da se promjena temperature unutarnje površine građevnog elementa odvija u određenom vremenskom razdoblju koje je potrebno za prijenos topline do vanjske površine građevnog elementa. Vremenska periodična promjena temperature se naziva temperaturni val.

Cilj energetske obnove je postizanje čim većeg prigušenja temperaturnih valova i većeg faznog pomaka jer se time osigurava ujednačenje temperatura unutarnje površine građevnog elementa.



Slika 4.3 Razlika površinskih temperature unutarnjeg zida prije i nakon energetske obnove

Na slici 4.3 su prikazane temperaturne razlike između slojeva građevnog elementa izoliranog i neizoliranog vanjskog zida. Temperatura zraka u prostoriji iznosi 22°C, a unutarnja površinska temperatura neizoliranog zida (lijevo) iznosi 17,5°C. Hladni zrak struji od stropa prema podu te stvara osjećaj nelagode, propuha te hladnoće. Veća temperaturna razlika između građevnih elemenata i čovjekovog tijela uzrokuje veći osjećaj nelagodnosti zbog bržeg hlađenja tijela. U tim slučajevima, kako bi boravak bio čim ugodniji, prostorije se zagrijavaju na temperaturu veću od 17,5°C, što za posljedicu ima smanjenje relativne vlažnosti zraka i povećanje potrošnje energije te stvaranje mogućnosti nastanka površinske kondenzacije.

Kako bi se izbjegli navedeni probleme postavljena je izolacija od 10 cm kamene vune na vanjskoj strani zida kako je prikazano na slici 4.3 (desno). Unutarnja površinska temperatura izoliranog zida povećala se te iznosi 21°C čime se znatno približila predviđenih 22°C i na taj se način izbjegava nastanak površinske kondenzacije jer je unutarnja površinska temperatura zida viša od temperature rosišta zraka u prostoriji.

Dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaza topline propisane su „Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada" od strane Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja. Prema prilogu B iz propisa dane su maksimalne dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaza topline  $U_k$   $\left[ \frac{W}{m^2K} \right]$ .

Za grad Zadar srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka (za najhladniji mjesec) iznosi 7,5 °C što je veće od  $t_{mj,min} > 3^{\circ}C$ . Temperatura na koju grijemo objekt iznosi 22°C što je veće od  $t_{u,pr} \geq 18^{\circ}C$  i sukladno tome najviši dozvoljeni koeficijenti prolaza topline za dječji vrtić podebljani su u tablici 4.3.

Tablica 4.3 Najveći dozvoljeni koeficijenti prolaza topline

Redni broj	Građevinski dio	$t_{u,pr} \geq 18^{\circ}C$		$12^{\circ}C < t_{u,pr} < 18^{\circ}C$	
		$t_{mj,min} \leq 3^{\circ}C$	$t_{mj,min} > 3^{\circ}C$	$t_{mj,min} \leq 3^{\circ}C$	$t_{mj,min} > 3^{\circ}C$
1	Vanjski zidovi, zidovi prema garaži i tavanu	0,3	<b>0,45</b>	0,5	0,6
2	Ostakljeni dio prozora, balkonskih vrata,krovnih prozora i prozirnih elemenata ovojnice zgrade	1,10	<b>1,40</b>	1,40	1,40
3	Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora,stropovi prema provjetravanom tavanu	0,25	<b>0,30</b>	0,40	0,50
4	Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaže	0,25	<b>0,30</b>	0,40	0,50
5	Zidovi i stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temp. više od 0°C	0,40	<b>0,60</b>	0,90	1,20
6	Zidovi prema tlu,podovi prema tlu	0,40	<b>0,50</b>	0,65	0,80
7	Vanjska vrata, vrata prema negrijanom stubištu s neprozirnim vratnim krilom i ostakljene pregrade	2,00	<b>2,40</b>	2,90	2,90

### 4.3. Klimatsko - meteorološki podaci

Stanje vanjskoga zraka znatno utječe na postizanje optimalne ugodnosti boravka u objektu. Ovisno o lokaciji zgrade očitavaju se poznati podaci kao što su temperatura, vlažnost i sastav vanjskog zraka, brzina i smjer strujanja vjetrova, intenzitet zračenja Sunca koji služe za projektiranje sustava grijanja, hlađenja, ventilacije te klimatizacije. Meteorološki podaci potrebni su kako bi izvršili proračun toplinskog opterećenja i godišnje potrebne energije za grijanje. Meteorološki podaci određuju se temeljem ‘reprezentativne godine’. Reprezentativnu godinu čine meteorološki podaci evidentirani u periodu promatranja od najmanje deset godina te je ona sastavljena od najtipičnijih mjeseci toga niza s realnim vrijednostima satnih promjena. Dječji vrtić se nalazi u zoni Primorske Hrvatske, u Zadru. U tablici su prikazane minimalne, maksimalne i srednje temperature po mjesecima te ukupno mjesečna dozračena sunčeva energija na vertikalnu plohu (podaci su preuzeti iz Narodnih Novina). Vanjska projektna temperatura grada Zadra iznosi  $-6^{\circ}\text{C}$ .

Tablica 4.4 Iznosi temperatura po mjesecima i globalno sunčevo zračenje za grad Zadar

Mjesec	$\theta_{m,min}$	$\theta_{m,max}$	$\theta_{m,m}$	Globalno sunčevo zračenje [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ]			
				Jug	Zapad	Istok	Sjever
Siječanj	-1,6	14,8	7,5	281	132	132	62
Veljača	-2,3	13,4	7,5	346	192	192	80
Ožujak	-2,2	16,5	10,1	391	298	298	132
Travanj	3,8	19,7	13,5	344	363	363	167
Svibanj	8,8	25,1	18,4	335	445	445	208
Lipanj	14,8	28,6	22,3	318	476	476	212
Srpanj	17,7	30,7	24,8	343	496	496	210
Kolovoz	16,7	29,8	24,5	376	442	442	186
Rujan	13,1	26,1	20,1	408	347	347	139
Listopad	5,7	22,8	16,4	447	268	268	102
Studeni	1,4	20,0	12,2	311	150	150	66
Prosinac	-4,6	16,0	8,6	222	103	103	53
<b>Godina</b>	-4,6	30,7	15,5	4121	3712	3712	1617



gdje je:

$\Theta_{m,min}$  – dnevna temperatura zraka (minimum po mjesecima) [°C],

$\Theta_{m,max}$  – dnevna temperatura zraka (maksimum po mjesecima) [°C],

$\Theta_{m,m}$  – dnevna temperatura zraka (srednjak po mjesecima) [°C].

#### 4.4. Koeficijent prolaza topline

Koeficijent prolaza topline  $U$  predstavlja količinu topline koja se gubi u jedinici sekunde po  $m^2$  površine pri razlici temperature od 1 K te se izračunava prema formuli 4.2.

$$U = \frac{1}{R_u + \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_v} \quad \left[ \frac{W}{m^2K} \right] \quad (4.2)$$

gdje je:

$R_u$  - toplinski otpor s unutarnje strane plohe prostorije  $\left[ \frac{m^2K}{W} \right]$ ,

$\delta_i$  - debljina i-tog sloja građevnog elementa [m],

$\lambda_i$  - koeficijent toplinske provodljivosti i-tog sloja  $\left[ \frac{W}{mK} \right]$ ,

$R_v$  - toplinski otpor s vanjske strane plohe prostorije  $\left[ \frac{m^2K}{W} \right]$ .

##### 4.4.1. Rezultati izračuna koeficijenta prolaza topline prije energetske obnove

U sljedećim tablicama prikazani su slojevi različitih građevnih dijelova prije energetske obnove te je za svaki sloj naveden njegov materijal, debljina, gustoća, toplinska vodljivost i toplinski otpori. Koeficijenti prolaza topline su izračunati pomoću programa Excel te što je manja njegova vrijednost to je materijal bolji izolator. Koeficijent prolaza topline ravnog krova te vanjskih zidova najviše odstupaju od dopuštenih vrijednosti (tablica 4.3) stoga su podvrgnuti mjerama energetske obnove postavljanjem odgovarajuće izolacije.

Tablica 4.5 Svojstva vanjskog zida prije energetske obnove

Br. sloja	Materijal sloja	$\delta$ [cm]	$\rho$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	$\lambda$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$	$R$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
1	Vapneno cementna žbuka	3	1800	1	0,03
2	Puna opeka	44	1800	0,76	0,579
3	Vapneno cementna žbuka	3	1800	1	0,03
	$\Sigma$	50			0,639
	$R_u$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$				0,13
	$R_v$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$				0,04
	$U$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$				<b>1,236</b>

Tablica 4.6 Svojstva međukatne konstrukcije (parket)

Br. sloja	Materijal sloja	$\delta$ [cm]	$\rho$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	$\lambda$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$	$R$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
1	Armirani beton	15	2500	2,6	0,058
2	Cementni estrih	6	2000	1,6	0,038
3	Ljepilo	1	1650	0,9	0,011
4	Parket	2	700	0,21	0,095
	$\Sigma$	24			0,202
	$R_u$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$				0,13
	$R_v$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$				0,13
	$U$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$				<b>2,167</b>

Tablica 4.7 Svojstva međukatne konstrukcije (keramičke pločice)

Br. sloja	Materijal sloja	$\delta$ [cm]	$\rho$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	$\lambda$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$	$R$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
1	Armirani beton	15	2500	2,6	0,058
2	Cementni estrih	6	2000	1,6	0,038
3	Ljepilo	1	1650	0,9	0,011
4	Keramičke pločice	2	2300	1,28	0,016
	$\Sigma$	24			0,123
	$R_u$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$				0,13
	$R_v$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$				0,13
	$U$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$				<b>2,618</b>

Tablica 4.8 Svojstva unutarnjih pregradnih zidova

Br. sloja	Materijal sloja	$\delta$ [cm]	$\rho$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	$\lambda$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$	$R$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
1	Vapneno cementna žbuka i mortovi	2	2100	1,4	0,014
2	Saćasta i šuplja opeka	16	1400	0,61	0,262
3	Vapneno cementna žbuka i mortovi	2	2100	1,4	0,014
	$\Sigma$	20			0,29
	$R_u$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$				0,13
	$R_v$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$				0,13
	$U$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$				<b>1,815</b>

Tablica 4.9 Svojstva unutarnjeg nosivog zida

Br. sloja	Materijal sloja	$\delta$ [cm]	$\rho$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	$\lambda$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$	$R$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
1	Vapneno cementna žbuka	3	1800	1	0,03
2	Puna opeka	44	1800	0,76	0,579
3	Vapneno cementna žbuka	3	1800	1	0,03
	$\Sigma$	50			0,639
					$R_u$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
					0,13
					$R_v$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
					0,13
					$U$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$
					<b>1,112</b>

Tablica 4.10 Svojstva poda u prizemlju (parket)

Br. sloja	Materijal sloja	$\delta$ [cm]	$\rho$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	$\lambda$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$	$R$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
1	Parket	2	700	0,21	0,095
2	Ljepilo	1	1650	0,9	0,011
3	Beton	5	2200	1,65	0,03
4	Bitumenska ljepenka	1	1100	0,23	0,043
5	Armirani beton	25	2500	2,6	0,096
6	Šljunak	30	1700	0,81	0,370
	$\Sigma$	64			0,645
					$R_u$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
					0,13
					$R_v$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
					0
					$U$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$
					<b>1,288</b>

Tablica 4.11 Svojstva poda u prizemlju (keramičke pločice)

Br. sloja	Materijal sloja	$\delta$ [cm]	$\rho$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	$\lambda$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$	$R$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
1	Keramičke pločice	2	2300	1,28	0,016
2	Ljepilo	1	1650	0,9	0,011
3	Beton	5	2200	1,65	0,03
4	Bitumenska ljepenka	1	1100	0,23	0,043
5	Armirani beton	25	2500	2,6	0,096
6	Šljunak	30	1700	0,81	0,370
	$\Sigma$	64			0,566
					$R_u$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
					0,13
					$R_v$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
					0
					$U$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$
					<b>1,435</b>

Tablica 4.12 Svojstva ravnog krova prije energetske obnove

Br. sloja	Materijal sloja	$\delta$ [cm]	$\rho$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	$\lambda$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$	$R$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
1	Vapneno cementna žbuka	2,5	1800	1	0,025
2	Armirani beton	20	2500	2,6	0,077
3	Beton s laganim agregatom	4	1800	1,3	0,031
4	Bitumenska ljepenka	1	1100	0,23	0,043
5	Hidroizolacijska traka	0,2	1200	0,14	0,014
	$\Sigma$	27,7			0,19
					$R_u$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
					0,13
					$R_v$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
					0,04
					$U$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$
					<b>2,774</b>

Tablica 4.13 Svojstva poda u prizemlju (sportska dvorana i dvorana za predstave)

Br. sloja	Materijal sloja	$\delta$ [cm]	$\rho$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	$\lambda$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$	$R$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
1	Parket	2	700	0,21	0,095
2	Ljepilo	0,5	1650	0,9	0,006
3	Daske za pod	2	520	0,14	0,143
4	Ljepilo	1	1650	0,9	0,011
5	Beton	4	2200	1,65	0,024
6	Bitumenska ljepenka	1	1100	0,23	0,043
7	Armirani beton	25	2500	2,6	0,096
8	Šljunak	30	1700	0,81	0,37
	$\Sigma$	65,5			0,788
					$R_u$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$ 0,13
					$R_v$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$ 0
					$U$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$ <b>1,088</b>

#### 4.4.2. Rezultati izračuna koeficijenta prolaza topline nakon energetske obnove

Kako je ranije spomenuto, vanjski zid te ravni krov imali su najnepovoljnije koeficijente prolaza topline, a pravilnom izolacijom njihovi su koeficijenti postali zadovoljavajući. Njihova svojstva prikazani su u tablicama 4.13 i 4.14. Korištena izolacija ravnog krova je 14 cm kamene vune, a vanjskog zida 10 cm kamene vune. Toplinska izolacija postavljena je s vanjske strane ovojnice zgrade jer se tako ljeti toplina zadržava s vanjske strane vanjskih zidova, a zimi se omogućuje da se toplina akumulira u zidovima što povećava njihovu temperaturu i smanjuje opasnost od kondenzacije vodene pare koja difuzijom prolazi kroz zid iz unutrašnjosti zgrade prema vanjskom zraku. Također, stara stolarija zamijenjena je novim PVC prozorima i vratima čiji su koeficijenti prolaza topline prije i nakon obnove prikazani u tablici 4.15.

Tablica 4.13 Svojstva vanjskog zida nakon energetske obnove

Br. sloja	Materijal sloja	$\delta$ [cm]	$\rho$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	$\lambda$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$	$R$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
1	Vapneno cementna žbuka	3	1800	1	0,03
2	Puna opeka	44	1800	0,76	0,579
3	Vapneno cementna žbuka	3	1800	1	0,03
4	Kamena vuna (FKD – N THERMAL)	10	10	0,034	2,941
	$\Sigma$	60			3,580
					$R_u$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$ 0,13
					$R_v$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$ 0,04
					$U$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$ <b>0,267</b>

Tablica 4.14 Svojstva ravnog krova nakon energetske obnove

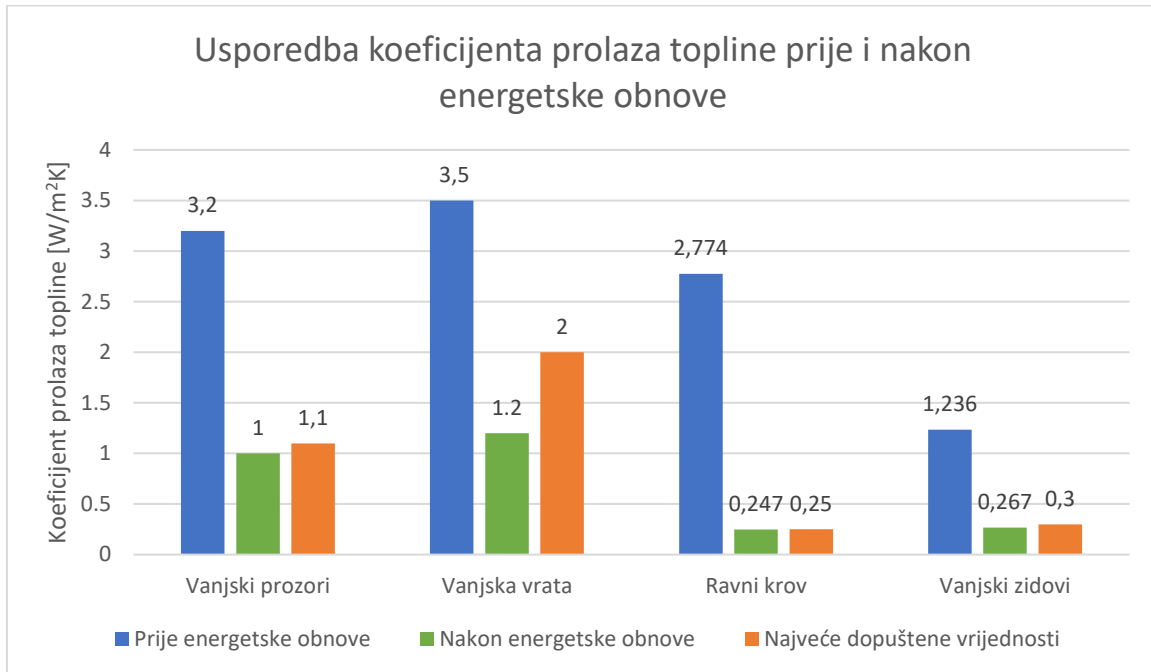
Br. sloja	Materijal sloja	$\delta$ [cm]	$\rho$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	$\lambda$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right]$	$R$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$
1	Vapneno cementna žbuka	2,5	1800	1	0,025
2	Armirani beton	20	2500	2,6	0,077
3	Beton s laganim agregatom	4	1800	1,3	0,031
4	Bitumenska ljepenka	1	1100	0,23	0,043
5	Hidroizolacijska traka	0,2	1200	0,14	0,014
6	Kamena vuna (Ploča za ravne krovove)	14	10	0,038	3,684
	$\Sigma$	41,7			3,875
					$R_u$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$ 0,13
					$R_v$ $\left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right]$ 0,04
					$U$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right]$ <b>0,247</b>

Tablica 4.15 Svojstva prozora i vrata prije i nakon energetske obnove

Vrsta otvora	Orijentacija	Broj otvora	Površina A [m <sup>2</sup> ]	Prije obnove U [W/m <sup>2</sup> K]	Nakon obnove U [W/m <sup>2</sup> K]
Prozori 1,5 x 2,2 m	Jug	4	3,3	3,2	1
	Istok	10			
	Sjever	-			
	Zapad	-			
Prozori 1,8 x 2,2 m	Jug	-	3,96	3,2	1
	Istok	2			
	Sjever	-			
	Zapad	-			
Prozori 2 x 2,2 m	Jug	24	4,4	3,2	1
	Istok	5			
	Sjever	20			
	Zapad	17			
Vanjska vrata 2 x 2,2 m	Jug	-	4,4	3,5	1,2
	Istok	1			
	Sjever	-			
	Zapad	-			
Vanjska vrata 2 x 2,5 m	Jug	1	5	3,5	1,2
	Istok	-			
	Sjever	1			
	Zapad	2			
Vanjska vrata (kotlovnica) 2 x 2,7 m	Jug	-	5,4	3,5	3,5
	Istok	1			
	Sjever	-			
	Zapad	-			
Unutarnja vrata 1 x 2,2 m	-	4	2,2	2	2
Unutarnja vrata 1,2 x 2,2 m	-	20	2,64	2	2
Unutarnja vrata 2,4 x 2,2 m	-	2	5,28	2	2



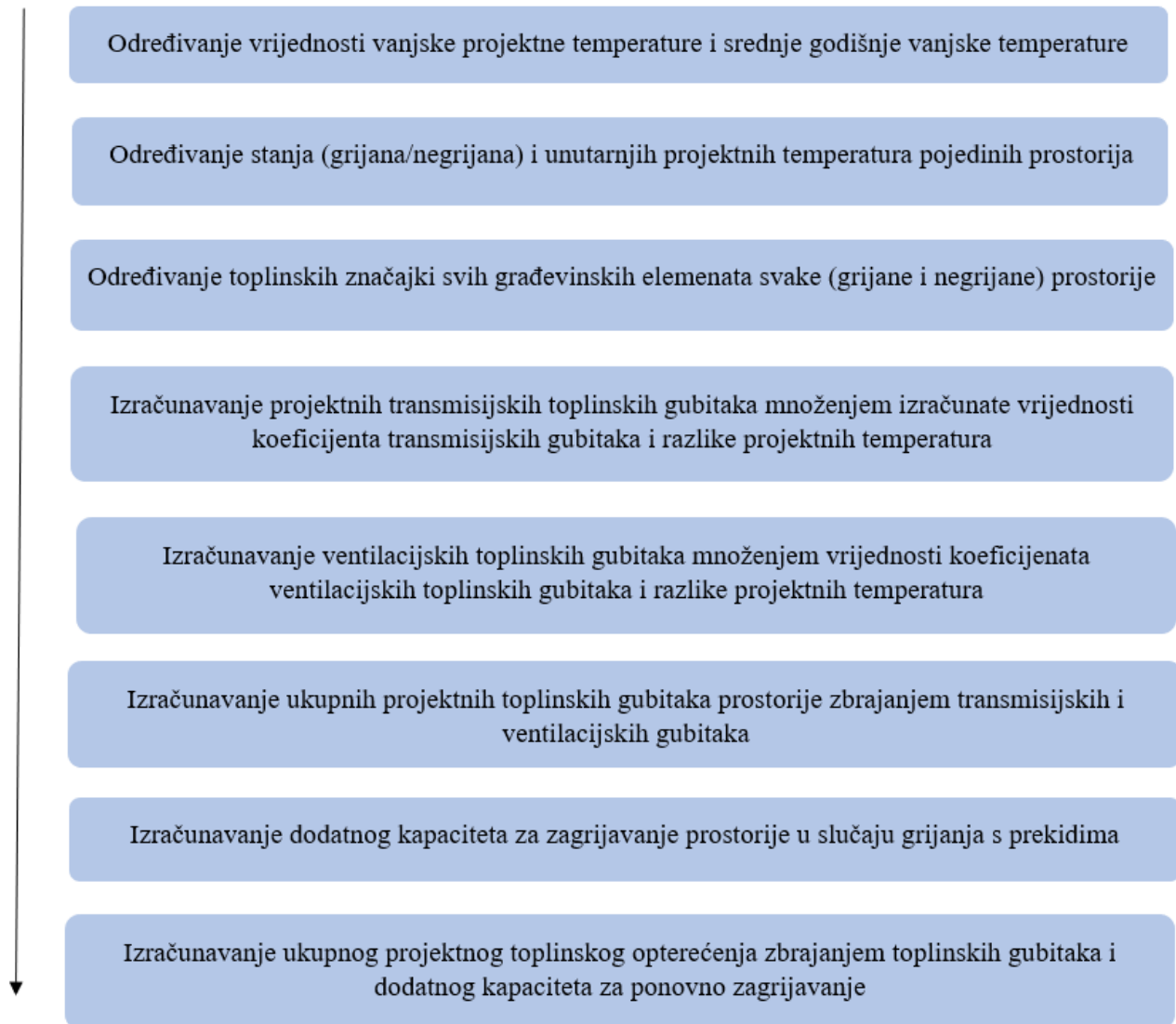
Na slici 4.4 prikazana je usporedba koeficijenata prolaza topline prije i nakon energetske obnove te možemo uočiti kako se koeficijent prolaza topline nakon energetske obnove znatno smanjio.



Slika 4.4 Usporedba koeficijenata prolaza topline zidova, prozora i vrata prije i nakon energetske obnove

## 5. PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA

Proračun toplinskog opterećenja proveden je prema normi HRN EN 12831. Ukupni toplinski gubici izračunati su za svaku prostoriju te su na kraju sumirani, a sastoje se od transmisivskih gubitaka topline, ventilacijskih gubitaka topline te gubitaka topline zbog prekida u grijanju, izraz (5.1). Redoslijed proračuna toplinskog opterećenja prikazan je slikom 5.1.



Slika 5.1 Postupak proračuna toplinskog opterećenja

$$\Phi = \Phi_T + \Phi_V + \Phi_{RH} \quad (5.1)$$

gdje je :

$\Phi_T$  - transmisijski toplinski gubici prostorije [W],

$\Phi_V$  - ventilacijski toplinski gubici prostorije [W],

$\Phi_{RH}$  - toplina za zagrijavanje zbog prekida u grijanju [W].

### 5.1. Transmisijski toplinski gubici

Transmisijski gubici topline jesu gubici uslijed prolaza topline kroz građevne dijelove kao što su zidovi, podovi, vrata, stropovi, prozori te se računaju prema jednadžbi (5.2).

$$\Phi_T = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\Phi_i - \Phi_e) \quad [\text{W}] \quad (5.2)$$

gdje je:

$\Phi_i$  – unutarnja projektana temperatura zraka prostorije (tablice 4.1 i 4.2) [°C],

$\Phi_e$  – vanjska projektana temperatura (za grad Zadar iznosi -6°C) [°C].

Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema okolišu računa se prema jednadžbi (5.3).

$$H_{T,ie} = \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum \psi_l \cdot l_l \cdot e_i \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{K}} \right] \quad (5.3)$$

gdje je:

$A_k$  – površina plohe „k“ kroz koju prolazi toplina [m<sup>2</sup>],

$U_k$  – koeficijent prolaza topline građevnog elementa "k" [W/m<sup>2</sup>K],

$e_k, e_i$  – korekcijski faktor izloženosti kojima se obuhvaćaju klimatski utjecaji kao što su vlažnost zraka, temperatura zraka te brzina vjetra ( Uzeta je vrijednost 1 ),

$\psi_l$  – linearni koeficijent prolaza topline linearnog toplinskog mosta [W/mK],

$l_l$  – dužina linijskog toplinskog mosta između prostorije i vanjskog okoliša [m].

Drugi član jednadžbe (5.3) prikazuje dodatak za toplinske mostove, a prilikom proračuna korištena je pojednostavljena jednadžba kojom je koeficijentu prolaza topline  $U_k$  pribrojen faktor korekcije  $\Delta U_{TM}$  koji iznosi  $0,05 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$ , izraz (5.4).

$$H_{T,ie} = \sum A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TM}) \quad \left[ \frac{W}{K} \right] \quad (5.4)$$

Transmisijski gubici od grijane prostorije kroz negrijane prostorije prema okolišu računaju se pomoću jednadžbe (5.5).

$$H_{T,iue} = \sum A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TM}) \cdot b_u \quad \left[ \frac{W}{K} \right] \quad (5.5)$$

gdje je:

$b_u$  – faktor smanjenja temperaturne razlike kojim je uzeto u obzir vanjska projektna temperatura te temperatura negrijanog prostora

Faktor smanjenja temperaturne razlike, ako je temperatura prostorije nepoznata, uzima se prema preporučenim vrijednostima koji su prikazani u tablici 5.1.

*Tablica 5.1 Faktor smanjenja temperaturne razlike*

Negrijana prostorija	$b_u$
S jednim vanjskim zidom	0,4
S najmanje dva vanjska zida bez vanjskih vrata	0,5
S najmanje dva vanjska zida i vanjskim vratima (npr. garaže, hodnici)	0,6
S tri vanjska vrata (npr. vanjsko stubište)	0,8
Podrum, bez prozora/vanjskih vrata	0,5
Podrum, s prozorima /vanjskim vratima	0,8
Potkrovlje s neizoliranim krovom velike propusnosti (npr. crijep)	1
Potkrovlje, drugi tip krova bez izolacije	0,9
Potkrovlje, izolirani krov	0,7
Unutarnji neventilirani prostori (bez vanjskih zidova)	0
Unutarnji prostori s prirodnom ventilacijom	1
Podignuti pod (pod iznad razine tla)	0,8

Koeficijent transmisivskih gubitaka od grijanog prostora prema tlu se računaju prema jednadžbi (5.6).

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum A_k \cdot U_{eq,k}) \cdot G_w \quad \left[ \frac{W}{K} \right] \quad (5.6)$$

gdje je:

$f_{g1}$  - korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature (Usvojena je vrijednost 1,45)

$f_{g2}$  - faktor smanjenja temperaturne razlike između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature koji se računa prema izrazu (5.7)

$U_{eq,k}$  - ekvivalentni koeficijent prolaza prema tipologiji poda

$G_w$  - korekcijski faktor za utjecaj podzemnih voda (Usvojena je vrijednost 1)

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad (5.7)$$

Koeficijent transmisivskih gubitaka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature se računa prema jednadžbi (5.8).

$$H_{T,ij} = \sum A_k \cdot U_k \cdot f_{ij} \quad \left[ \frac{W}{K} \right] \quad (5.8)$$

gdje je:

$f_{ij}$  – faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature a računa se prema izrazu (5.9).

$$f_{ij} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{ads}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad (5.9)$$

## 5.2. Ventilacijski toplinski gubici

Ventilacijski gubici topline javljaju se kao posljedica strujanja zraka kroz ovojnicu zgrade i između prostorija, a računaju se pomoću izraza (5.10).

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Phi_i - \Phi_e) \quad [\text{W}] \quad (5.10)$$

gdje je:

$H_{V,i}$  - koeficijent ventilacijskih gubitaka topline  $\left[\frac{\text{W}}{\text{K}}\right]$ ,

$\Phi_i$  - unutarnja projektna temperatura zraka  $[\text{°C}]$ ,

$\Phi_e$  - vanjska projektna temperatura zraka  $[\text{°C}]$ .

Koeficijent ventilacijskih gubitaka topline izračunava se prema jednadžbi (5.11).

$$H_V = V_i \cdot c_p \cdot \rho \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{K}}\right] \quad (5.11)$$

gdje je:

$V_i$  - protok zraka u grijani prostor  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ,

$\rho$  - gustoća zraka pri  $\Phi_{\text{int},i}$   $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ,

$c_p$  - specifični toplinski kapacitet zraka pri  $\Phi_{\text{int},i}$   $[\text{kJ}/\text{kgK}]$ .

U tablici 5.2 su prikazane vrijednosti specifičnog toplinskog kapaciteta zraka i gustoće zraka za različite temperature prostorija.

Tablica 5.2 Usvojene vrijednosti specifičnog toplinskog kapaciteta i gustoće zraka

$c_p = 1,005 \text{ kJ/kgK}$
$\rho_{15^\circ\text{C}} = 1,225 \text{ kg/m}^3$
$\rho_{18^\circ\text{C}} = 1,215 \text{ kg/m}^3$
$\rho_{20^\circ\text{C}} = 1,204 \text{ kg/m}^3$
$\rho_{22^\circ\text{C}} = 1,197 \text{ kg/m}^3$

Dječji vrtić u Zadru nema predviđen ventilacijski sustav stoga se za volumni protok zraka  $V_i$  usvaja veća od dviju vrijednosti, izraz (5.12).

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i}) \quad (5.12)$$

gdje je:

$V_{inf,i}$  - maksimalni protok zraka uslijed infiltracije [ $\text{m}^3/\text{h}$ ],

$V_{min,i}$  - minimalni higijenski protok zraka [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

Maksimalni prorok zraka uslijed infiltracije računa se prema jednadžbi (5.13).

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_{int} \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (5.13)$$

gdje je:

$n_{50}$  - broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa [ $\text{h}^{-1}$ ]

$e_i$  - koeficijent zaštićenosti koji uzima u obzir utjecaj vjetra, odnosno zaštićenost zgrade i broj otvora prema okolici ( za srednju zaštitu njegova vrijednost iznosi 0,03)

$\varepsilon_i$  - korekcijski faktor za visinu( uzima u obzir različit odnos tlakova s povećanjem visine iznad zemlje (za visinu od 0-10 m njegova vrijednost iznosi 1)

Minimalni higijenski protok zraka izračunava se izrazom (5.14).

$$V_{min,i} = V_i \cdot n_{min} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (5.14)$$

gdje je:

$V_i$  - volumen prostorije [ $\text{m}^3$ ]

$n_{min}$  - minimalni broj izmjena zraka u prostoriji [ $\text{h}^{-1}$ ]

### 5.3. Toplina za zagrijavanje zbog prekida grijanja

Objekti u kojima postoji prekid u grijanju iziskuju dodatnu toplinu kako bi se zagrijali do projektne temperature prostorije zato što u periodu kada se ne grije temperature padne. Toplina za zagrijavanje računa se izrazom (5.15).

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} [W] \quad (5.15)$$

gdje je:

$A_i$  - površina poda grijanog prostora s pola debljine zidova [ $m^2$ ]

$f_{RH}$  - korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida grijanja

Prema tablici 5.3, za vrijeme zagrijavanja od dva sata, veliku masu zgrade te pretpostavljeni pad temperature u vremenu prekida od 2 K korekcijski faktor iznosi  $f_{RH} = 22 [W/m^2]$ .

Tablica 5.3 Vrijednosti korekcijskog faktora za nestambene zgrade, noćni prekid maksimalno 12 h

Vrijeme zagr. h	$f_{RH}$ W/m <sup>2</sup>								
	Pretpostavljeni pad temperature za vrijeme prekida								
	2 K			3 K			4 K		
	masa zgrade			masa zgrade			masa zgrade		
	mala	srednja	velika	mala	srednja	velika	mala	srednja	velika
1	18	23	25	27	30	27	3	27	31
2	9	16	22	18	20	23	22	24	25
3	6	13	18	11	16	18	18	18	18
4	4	11	16	6	13	16	11	16	16



## 5.4. Rezultati proračuna toplinskog opterećenja

Proračun toplinskog opterećenja proveden je za sve grijane prostorije dječjeg vrtića. Tablicama 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 i 5.9 prikazani su rezultati proračuna za svaku prostoriju prije te nakon energetske obnove.

Tablica 5.4 Toplinsko opterećenje prostorija prizemlja prije energetske obnove

PROSTORIJA	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{RH,i}$ [W]	$\Phi_i$ [W]
Sportska dvorana	23481	28040	9110	60631
Hodnik	7024	2669	3160	12853
Sanitarije (lijevo)	984	286	366	1636
Sanitarije (desno)	508	286	366	1160
Svlačionica	402	304	360	1066
Ured 1	913	385	456	1754
Ured 2	1970	422	500	2892
Ured 3	4131	482	570	5183
Ured 4	913	482	570	1965
Dvorana za predstave	5534	2600	3078	11212
<b>UKUPNO</b>	<b>45860</b>	<b>35956</b>	<b>18536</b>	<b>100352</b>

Tablica 5.5 Toplinsko opterećenje prostorija prvog kata prije energetske obnove

PROSTORIJA	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{RH,i}$ [W]	$\Phi_i$ [W]
Prostorija 4	8654	1086	1520	11260
Prostorija 3	7266	1086	1520	9872
Prostorija 2	7266	1086	1520	9872
Prostorija 1	9108	1086	1520	11714
Hodnik	32344	3066	4290	39700
Kuhinja	2757	353	704	3814
Sanitarije lijevo	2357	242	366	2965
Sanitarije desno	2207	242	366	2815
Prostorija 5	6041	686	960	7687
Prostorija 6	5248	626	1060	6934
Prostorija 7	4554	786	1100	6440
Prostorija 8	8352	944	1320	10616
<b>UKUPNO</b>	<b>96154</b>	<b>11289</b>	<b>16246</b>	<b>123689</b>

Tablica 5.6 Rekapitulacija toplinskog opterećenja prije energetske obnove

CJELINA	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{RH,i}$ [W]	$\Phi_i$ [W]
PRIZEMLJE	45860	35956	18536	100352
PRVI KAT	96154	11289	16246	123689
<b>UKUPNO</b>	142014	47245	34782	<b>224041</b>

Tablica 5.7 Toplinsko opterećenje prostorija prizemlja nakon energetske obnove

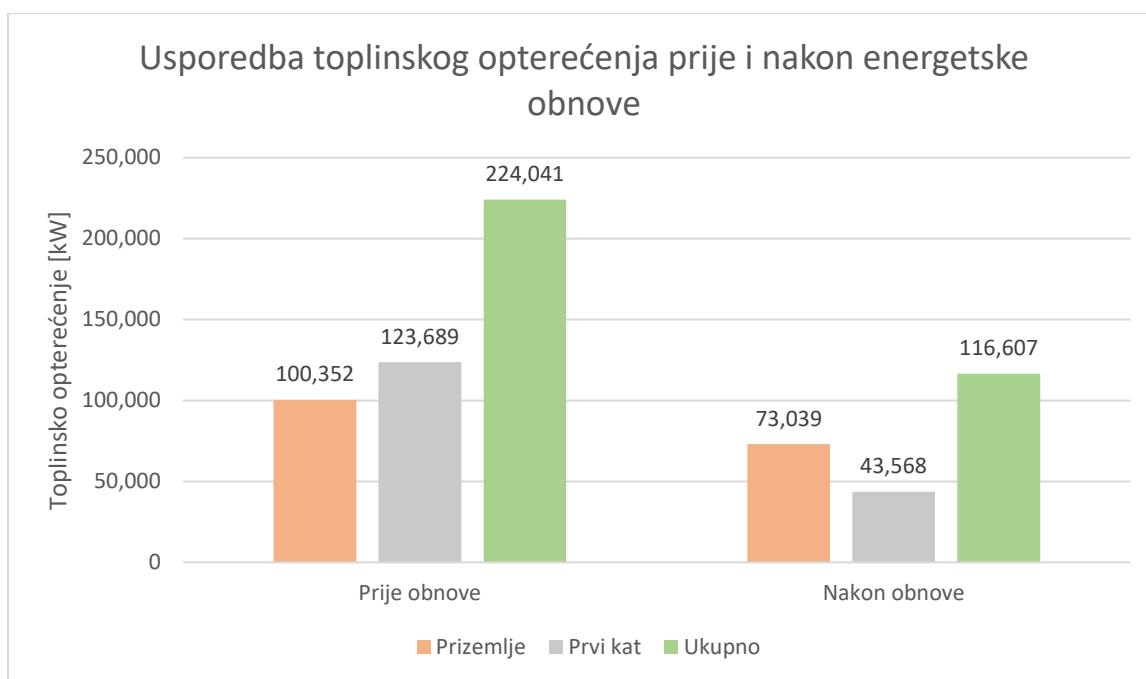
PROSTORIJA	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{RH,i}$ [W]	$\Phi_i$ [W]
Sportska dvorana	13886	25849	9110	48845
Hodnik	2840	1729	3160	7729
Sanitarije (lijevo)	216	185	366	767
Sanitarije (desno)	62	185	366	613
Svlačionica	233	197	360	790
Ured 1	321	250	456	1027
Ured 2	893	274	500	1667
Ured 3	2910	312	570	3792
Ured 4	329	312	570	1211
Dvorana za predstave	1836	1684	3078	6598
<b>UKUPNO</b>	23526	30977	18536	<b>73039</b>

Tablica 5.8 Toplinsko opterećenja prostorija prvog kata nakon energetske obnove

PROSTORIJA	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{RH,i}$ [W]	$\Phi_i$ [W]
Prostorija 4	1729	704	1520	3953
Prostorija 3	1302	704	1520	3526
Prostorija 2	1302	704	1520	3526
Prostorija 1	1956	704	1520	4180
Hodnik	7262	1987	4290	13539
Kuhinja	-51	232	704	885
Sanitarije lijevo	891	157	366	1414
Sanitarije desno	740	157	366	1263
Prostorija 5	1337	445	960	2742
Prostorija 6	985	412	1060	2457
Prostorija 7	825	509	1100	2434
Prostorija 8	1718	611	1320	3649
<b>UKUPNO</b>	<b>19996</b>	<b>7326</b>	<b>16246</b>	<b>43568</b>

Tablica 5.9 Rekapitulacija toplinskog opterećenja nakon energetske obnove

CJELINA	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{RH,i}$ [W]	$\Phi_i$ [W]
PRIZEMLJE	23526	30977	18536	73039
PRVI KAT	19996	7326	16246	43568
<b>UKUPNO</b>	<b>43522</b>	<b>38303</b>	<b>34782</b>	<b>116607</b>



*Slika 5.2 Grafički prikaz usporedbe toplinskog opterećenja prije te nakon energetske obnove*

Prema dobivenim rezultatima možemo uočiti kako se najviše topline u prizemlju gubi u sportskoj dvorani. Gubici transmisijom znatno su veći u prostorijama na prvome katu zato što su te prostorije više u doticaju s vanjskim zidom i ravnim krovom te zbog njihovog velikog koeficijenta prolaza topline i transmisijski gubici poprimaju visoke vrijednosti. Ukupno toplinsko opterećenje dječjeg vrtića iznosi 224 kW prije energetske obnove, a 116,6 kW nakon. Prema dobivenim rezultatima možemo zaključiti kako se toplinsko opterećenje vrtića smanjilo za 107,4 kW odnosno za 48%. Najveća ušteda postigla se izolacijom ravnog krova što možemo vidjeti prema rezultatima prostorija prvoga kata.

## 6. GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJE ZA GRIJANJE DJEČJEG VRTIĆA

Godišnja potrebna energija za grijanje predstavlja onu količinu topline koju je, sustavom grijanja, potrebno dovoditi u objekt kako bi se održavale unutarnje projektne temperature prostorija. Potrebna toplinska energija za grijanje dana je izrazom (6.1).

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} [\text{kWh}] \quad (6.1)$$

gdje je :

$Q_{H,nd,cont}$  – potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu [kWh],

$Q_{H,ht}$  – ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu grijanja (transmisijski + ventilacijski gubici topline) [kWh],

$\eta_{H,gn}$  – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka [-],

$Q_{H,gn}$  – ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu grijanja ( ljudi, rasvjeta, uređaji i sunčevo zračenje [kWh].

Prema normi HRN EN ISO 13790, postoje tri pristupa proračunu potrošnje energije za grijanje i hlađenje (ovisno o vremenskom koraku proračuna), a oni su:

- kvazistacionarni proračun na bazi sezonskih vrijednosti,
- kvazistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti
- dinamički proračun s vremenskim korakom od jednog sata.

Za energetska certificiranje zgrada koristi se kvazistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti, a godišnja vrijednost potrebne energije za grijanje računa se kao suma pozitivnih mjesečnih vrijednosti.

### 6.1. Ulazni parametri proračuna

Kako bi se proveo proračun godišnje potrebne energije za grijanje dječjeg vrtića potrebno je odrediti proračunske podatke te podatke o zgradi vrtića kao i referentne klimatske podatke mjesta u kojem se objekt nalazi. Vrtić promatramo kao jednu proračunsku zonu čije unutarnje proračunske temperature zimi iznose 22°C, a ljeti 24°C.

Podaci o zgradi:

$A_f$  - Površina kondicionirane zone zgrade s vanjskim dimenzijama [ $m^2$ ],

$A_K$  - Ploština korisne površine zgrade [ $m^2$ ],

$V_e$  - Obujam grijanog dijela zgrade (bruto obujam) [ $m^3$ ],

$V$  - Obujam grijanog zraka (neto obujam) [ $m^3$ ],

$\Delta U_{TM}$  - Dodatak za toplinske mostove [ $W/m^2K$ ].

*Tablica 6.1 – Podaci o zgradi (izračunate vrijednosti)*

$A_f$ [ $m^2$ ]	$A_K$ [ $m^2$ ]	$V_e$ [ $m^3$ ]	$V$ [ $m^3$ ]	$\Delta U_{TM}$ [ $W/m^2K$ ]
2004,9738	1739,1	6560,5955	5245,925	0,05

Proračunski podaci:

$g_{int}$  - Unutarnja postavna temperatura pojedinih temperaturnih zona [ $^{\circ}C$ ] (za dječje vrtiće iznosi  $22^{\circ}C$ ),

$n$  - broj izmjena zraka svake proračunske zone u jednom satu [ $h^{-1}$ ]

Klimatski podaci:

$g_e$  - Srednja vanjska temperatura u Zadru za promatrani proračunski period [ $^{\circ}C$ ] (tablica 4.4)

$S_s$  - Srednja dozračena sunčeva energija u Zadru za promatrani proračunski period [ $MJ/m^2$ ] (tablica 4.4)

## 6.2. Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje

Za sve mjesece u godini provodi se sumiranje ako su vrijednosti mjesečne potrebne toplinske energije za grijanje pozitivne, a proračun se vrši prema izrazu (6.2).

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol})[\text{kWh}] \quad (6.2)$$

gdje je:

$Q_{Tr}$  – izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu [kWh],

$Q_{Ve}$  – potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu [kWh],

$\eta_{H,gn}$  – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka [-],

$Q_{int}$  – unutarnji toplinski dobitci zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta) [kWh],

$Q_{sol}$  – toplinski dobitci od Sunčeva zračenja [kWh].

### 6.2.1. Toplinska energija izmijenjena transmisijom

Toplinsku energiju izmijenjenu transmisijom računamo prema jednadžbi (6.3).

$$Q_{Tr} = \frac{H_{Tr}}{1000} (\vartheta_{int} - \vartheta_e)t \quad [\text{kWh}] \quad (6.3)$$

gdje je :

$H_{Tr}$  – koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone [W/K], izraz (6.4).

$$H_{Tr} = H_D + H_U + H_{g,avg} \quad [\text{W/K}] \quad (6.4)$$

$H_D$  - koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_U$  - koeficijent transmisijske izmjene topline kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_{g,avg}$  - prosječni koeficijent transmisijske izmjene prema tlu [W/K]

$t$  - trajanje proračunskog razdoblja (ukupan broj sati mjeseca) [h]

### 6.2.2. Toplinska energija izmijenjena ventilacijom

Toplinsku energiju izmijenjenu ventilacijom računamo prema jednadžbi (6.5).

$$Q_{Ve} = \frac{H_{Ve}}{1000} (\vartheta_{int,H} - \vartheta_e) t \quad [\text{kWh}] \quad (6.5)$$

gdje je:

$H_{Ve}$  – koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone [W/K], izraz (6.6),

$$H_{Ve} = H_{Ve,inf} + H_{Ve,win} \quad [\text{W/K}] \quad (6.6)$$

$H_{Ve,inf}$  – koeficijent ventilacijske izmjene topline uslijed infiltracije [W/K], izraz (6.7),

$H_{Ve,win}$  – koeficijent ventilacijske topline uslijed otvaranja prozora [W/K], izraz (6.8).

$$H_{Ve,inf} = \frac{n_{inf} \cdot V \cdot \rho_a \cdot c_{p,a}}{3600} \quad [\text{W/K}] \quad (6.7)$$

$$H_{Ve,win} = \frac{n_{win} \cdot V \cdot \rho_a \cdot c_{p,a}}{3600} \quad [\text{W/K}] \quad (6.8)$$

$n_{inf}$  -broj izmjena zraka uslijed infiltracije [ $\text{h}^{-1}$ ], izraz 6.9,

$V$ - volumen zraka u zoni [ $\text{m}^3$ ],



$\rho_a$  – gustoća zraka,  $\rho_a = 1,2$  [kg/m<sup>3</sup>],

$c_{p,a}$  – specifični toplinski kapacitet zraka,  $c_{p,a} = 1,005$  [J/kgK],

$n_{win}$  - broj izmjena zraka uslijed otvaranja prozora [h<sup>-1</sup>],

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50} \text{ [h}^{-1}\text{]} \quad (6.9)$$

$e_{wind}, f_{wind}$  - faktori zaštićenosti zgrade od vjetra [-],  $e_{wind} = 0,02$ ;  $f_{wind} = 20$ ,

$n_{50}$  - broj izmjena zraka pri razlici tlakova od 50 Pa [h<sup>-1</sup>], tablica 6.2.

Za slučaj kada nema mehaničke ventilacije, prema tehničkom propisu koji se odnosi na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama, mora vrijediti izraz 6.10.

$$n_{inf} + n_{win} = \max\{n_{inf} + n_{win}; 0,5\} \text{ [h}^{-1}\text{]} \quad (6.10)$$

*Tablica 6.2 Broj izmjena zraka pri razlici tlakova od 50 Pa prije i nakon obnove*

$n_{50}$ (prije obnove) [h <sup>-1</sup> ]	$n_{50}$ (nakon obnove) [h <sup>-1</sup> ]
5	3

Za sustave bez mehaničke ventilacije, broj izmjena zraka (prema izrazu 6.9) iznosi 0,1 h<sup>-1</sup> prije energetske obnove te 0,06 h<sup>-1</sup> nakon.

U tablici 6.3 prikazane su sve prostorije dječjeg vrtića te su navedeni volumeni, volumni protoci, te minimalni broj izmjena zraka za svaku prostoriju. Prosječni broj izmjena zraka zbog prirodne ventilacije (otvaranje prozora) cijelog vrtića dobiven je kao kvocijent ukupnog volumnog protoka zraka i volumena zraka svih prostorija te iznosi  $n_{win} = 2,44$  h<sup>-1</sup>.

Tablica 6.3 Volumeni, volumni protoci i minimalni broj izmjena zraka svake prostorije

Prostorija	Volumen prostorije [m <sup>3</sup> ]	Volumni protok zraka [m <sup>3</sup> /h]	Broj izmjena zraka [h <sup>-1</sup> ]
Sportska dvorana	1480,38	7401,9	5
Hodnik (prizemlje)	513,5	256,8	0,5
Sanitarije lijevo (prizemlje)	59,48	89,2	1,5
Sanitarije desno (prizemlje)	59,48	89,2	1,5
Svlačionica	58,5	58,5	1
Ured 1	74,1	74,1	1
Ured 2	81,25	81,25	1
Ured 3	92,63	92,63	1
Ured 4	92,63	92,63	1
Dvorana za predstave	500,18	3251,1	6,5
Prostorija 4	209,0	104,5	0,5
Prostorija 3	209,0	104,5	0,5
Prostorija 2	209,0	104,5	0,5
Prostorija 1	209,0	104,5	0,5
Hodnik (prvi kat)	589,88	294,9	0,5
Kuhinja	96,8	145,2	1,5
Sanitarije lijevo (prvi kat)	50,33	75,5	1,5
Sanitarije desno (prvi kat)	50,33	75,5	1,5
Prostorija 5	132,0	66,0	0,5
Prostorija 6	145,75	72,9	0,5
Prostorija 7	151,25	75,6	0,5
Prostorija 8	181,5	90,8	0,5
<b>Ukupno</b>	<b>5245,97</b>	<b>12801,71</b>	<b>-</b>

U tablicama 6.4 i 6.5 su prikazani rezultati transmisijskih i ventilacijskih koeficijenata prostorija prizemlja i prvog kata prije te nakon energetske obnove dok je u tablici 6.6 prikazana rekapitulacija transmisijskih i ventilacijskih gubitaka prije i nakon energetske obnove.

Tablica 6.4 Transmisijski i ventilacijski koeficijenti prostorija prizemlja prije i nakon energetske obnove

Prizemlje Naziv prostorije	Prije obnove		Nakon obnove	
	$H_{Tr}$ [W/K]	$H_{Ve}$ [W/K]	$H_{Tr}$ [W/K]	$H_{Ve}$ [W/K]
Sportska dvorana	882,76	1054,15	522,02	971,78
Hodnik	264,06	100,36	106,75	65,01
Sanitarije lijevo	40,01	11,62	8,8	7,53
Sanitarije desno	20,66	11,62	2,5	7,53
Svlačionica	15,12	11,43	8,78	7,41
Ured 1	34,44	14,48	12,07	9,38
Ured 2	74,06	15,88	33,57	10,29
Ured 3	155,3	18,10	109,39	11,73
Ured 4	34,32	18,10	12,36	11,73
Dvorana za predstave	208,05	97,75	69,04	63,33
<b>UKUPNO</b>	<b>1728,78</b>	<b>1353,49</b>	<b>885,28</b>	<b>1165,72</b>

Tablica 6.5 Transmisijski i ventilacijski koeficijenti prostorija prvog kata prije i nakon energetske obnove

Prvi kat Naziv prostorije	Prije obnove		Nakon obnove	
	$H_{Tr}$ [W/K]	$H_{Ve}$ [W/K]	$H_{Tr}$ [W/K]	$H_{Ve}$ [W/K]
Prostorija 4	235,35	40,85	65,00	26,46
Prostorija 3	273,14	40,85	48,94	26,46
Prostorija 2	273,14	40,85	48,94	26,46
Prostorija 1	342,42	40,85	73,54	26,46
Hodnik	1215,91	115,28	273,04	74,68
Kuhinja	121,98	15,63	-2,25	10,28
Sanitarije lijevo	95,83	9,84	36,21	6,37
Sanitarije desno	89,70	9,84	30,08	6,37
Prostorija 5	227,10	25,8	50,25	16,71
Prostorija 6	197,30	23,53	37,05	15,48
Prostorija 7	171,21	29,56	31,00	19,15
Prostorija 8	313,99	35,47	64,59	22,98
<b>UKUPNO</b>	<b>3557,07</b>	<b>428,35</b>	<b>756,39</b>	<b>277,86</b>

Tablica 6.6 Rezimiranje transmisijskih i ventilacijskih koeficijenata prije i nakon energetske obnove

Ukupno	$H_{Tr}$ [W/K]	$H_{Ve}$ [W/K]
PRIJE OBNOVE	5285,85	1781,84
NAKON OBNOVE	1641,67	1443,58

### 6.2.3. Toplinski dobici

Toplinski dobici izračunati su pomoću jednadžbe (6.11), a sastoje se od unutarnjih toplinskih dobitaka i sunčevih toplinskih dobitaka kako je prikazano jednadžbama (6.12) te (6.13).

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \text{ [kWh]} \quad (6.11)$$

$$Q_{int} = \frac{q_{spec} \cdot A_k \cdot t}{1000} \text{ [kWh]} \quad (6.12)$$

$$Q_{sol} = \frac{F_{sh,ob} \cdot S_{s,k} \cdot A_{sol,k}}{3,6} - \frac{F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k} \cdot t}{1000} \text{ [kWh]} \quad (6.13)$$

gdje je:

$q_{spec}$  - specifični unutarnji dobitak po  $m^2$  korisne površine (za nestambene prostore iznosi  $6 \text{ W/m}^2$ )

$A_k$  – korisna površina [ $m^2$ ]

$t$  - proračunsko vrijeme [h]

$F_{sh,ob}$  - faktor zasjenjenja od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja

$S_{s,k}$  – srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog elementa  $k$  za promatrani period [ $\text{MJ/m}^2$ ]

$A_{sol,k}$  - efektivna površina građevnog elementa  $k$  na koji upada sunčevo zračenje [ $m^2$ ]

$F_{r,k}$  - faktor oblika između otvora  $k$  i neba

$\Phi_{r,k}$  - toplinski tok zračenja  $k$ -tog elementa prema nebu [W]

#### 6.2.4. Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje

Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka funkcija je efektivnog toplinskog kapaciteta zgrade ,a računa se prema jednadžbama (6.14), (6.15) ili (6.16) ovisno o omjeru toplinskih dobitaka i gubitaka.

$$\eta_{H,gn} = \frac{1-y_H^{\alpha_H}}{1-y_H^{\alpha_H+1}} , \quad y_H > 0 \text{ i } y_H \neq 1 \quad (6.14)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{\alpha_H}{1-\alpha_H} , \quad y_H = 1 \quad (6.15)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{y_H} , \quad y_H < 0 \quad (6.16)$$

gdje je :

$y_H$  - omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja, izraz (6.17),

$\alpha_H$  - bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstanti zgrade, izraz (6.18).

$$y_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (6.17)$$

$$\alpha_H = \alpha_0 + \frac{\tau}{\tau_{H,o}} \quad (6.18)$$

gdje je :

$\tau_{H,o}$  - vremenska konstanta za grijanje (za mjesečni proračun :  $\tau_{H,o} = 15$  h ,  $\alpha_0 = 1$  prema HRN EN 13790)

$\tau$  - vremenska konstanta zgrade koja se računa prema izrazu (6.19) [h]

$$\tau = \frac{\frac{C_m}{3600}}{H_{Tr} + H_{Ve}} \quad [\text{h}] \quad (6.19)$$

gdje je :

$C_m$  - efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade [J/K], izraz (6.20),

$H_{Tr}$  – koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone [W/K],

$H_{Ve}$  – koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone [W/K].

$$C_m = 370 \cdot A_f \quad (6.20)$$

Efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade iznosi:

$$C_m = 370 \cdot 2004,9738 = 741840,306 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

U tablici 6.7 dane su izračunate vremenske konstante i bezdimenzijski parametar koji je ovisan o vremenskoj konstanti za stanje prije te nakon energetske obnove.

*Tablica 6.7 Vremenska konstanta zgrade te bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstanti zgrade prije i nakon energetske obnove*

	$\tau$	$\alpha_H$
Prije obnove	29,16	2,94
Nakon obnove	66,79	5,45

### 6.2.5. Izračun mjesečnih vrijednosti toplinske energije za grijanje

Kako bi izračunali potrebnu energiju za grijanje potrebno je odrediti koliko mjeseci je potrebno grijati. Temeljem toga se izračunavaju godišnje vrijednosti toplinske energije za grijanje prema jednadžbi (6.21).

$$Q_{H,nd,a} = \sum_i (\alpha_{H,red} \cdot Q_{H,nd,cont,m,i} \cdot \frac{L_{H,m,i}}{d_{m,i}}) \quad [\text{kWh/god}] \quad (6.21)$$

gdje je :

$Q_{H,nd,cont,m,i}$  – mjesečna vrijednost toplinske energije za grijanje [kWh/mj],

$L_{H,m,i}$  – ukupni broj dana u mjesecu koji se računa prema izrazu (6.22),

$d_{m,i}$  – broj dana u mjesecu,

$\alpha_{H,red}$  - bezdimenzijski redukcijski faktor koji se računa prema izrazu (6.23).

$$L_{H,m} = f_{H,m} \cdot d_{m,i} \left[ \frac{\text{dana}}{\text{mj}} \right] \quad (6.23)$$

$$\alpha_{H,red} = 1 - 3 \cdot \left( \frac{\tau_{H,o}}{\tau} \right) \cdot y_H \cdot (1 - f_{H,hr}) \quad (6.23)$$

Parametar koji je potreban za proračun trajanja sezone grijanja granična je vrijednost omjera toplinskih dobitaka i gubitaka prikazan jednadžbom (6.24).

$$y_{H,lim} = \frac{\alpha_H + 1}{\alpha_H} [-] \quad (6.24)$$

Ako  $y_{H,2} < y_{H,lim} \rightarrow f_H = 1$  (Grijanje je cijeli mjesec u radu)

Ako  $y_{H,1} > y_{H,lim} \rightarrow f_H = 0$  (Nema potreba za grijanjem)



U prijelaznim mjesecima sezone grijanja (prije početka i prestanka grijanja) parametar  $f_H$  se određuje izrazima (6.25) i (6.26).

$$y_H > y_{H,lim} \rightarrow f_H = 0,5 \cdot \frac{y_{H,lim} - y_{H,1}}{y_H - y_{H,1}} \quad (6.25)$$

$$y_H \leq y_{H,lim} \rightarrow f_H = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{y_{H,lim} - y_H}{y_{H,2} - y_H} \quad (6.26)$$

Prosječni omjer toplinskih dobitaka i gubitaka za mjesece za koji se izračunava  $f_{H,m}$  prikazan je u tablici 6.8 gdje  $y_{H,2}$  veća prosječna vrijednost, a  $y_{H,1}$  manja od dviju prosječnih vrijednosti.

*Tablica 6.8 Prosječni omjeri toplinskih gubitaka i dobitaka*

$\frac{y_{H,m} - y_{H,m-1}}{2}$	Manja od dvije vrijednosti je $y_{H,1}$ , veća je $y_{H,2}$ ( $y_{H,2} > y_{H,1}$ )
$\frac{y_{H,m} + y_{H,m+1}}{2}$	

Gdje je:

$y_{H,m}$  - omjer toplinskih dobitaka i gubitaka u mjesecu  $m$  za koji se proračunava  $f_{H,m}$

$y_{H,m-1}$  - omjer toplinskih dobitaka i gubitaka u mjesecu prije mjeseca  $m$  za koji se proračunava  $f_{H,m}$

$y_{H,m+1}$  - omjer toplinskih dobitaka i gubitaka u mjesecu nakon mjeseca  $m$  za koji se proračunava  $f_{H,m}$

Ako je  $y_H$  određenog mjeseca manji od 0, u proračunu se  $y_H$  zamjenjuje sa  $y_H = 1000$ .

### 6.2.6. Rezultati proračuna godišnje potrebne energije za grijanje prije energetske obnove

U tablicama 6.9 i 6.10 prikazani su rezultati proračuna ukupno potrebne energije za grijanje prije energetske obnove. Iz dobivenih rezultata može se uočiti kako je najveća potreba za grijanjem u siječnju dok u ljetnim mjesecima nema potrebe za grijanjem.

*Tablica 6.9 Mjesečni rezultati toplinskih gubitaka i dobitaka prije energetske obnove*

MJESEC	$Q_{Tr}$ [kWh]	$Q_{vent}$ [kWh]	$Q_{int}$ [kWh]	$Q_{sol}$ [kWh]
<b>SIJEČANJ</b>	57023,75	19222,49	7763,34	8246,02
<b>VELJAČA</b>	51505,32	17362,25	7012,05	13305,31
<b>OŽUJAK</b>	46798,80	15775,70	7763,34	19213,94
<b>TRAVANJ</b>	32349,40	10904,86	7512,91	21411,84
<b>SVIBANJ</b>	14157,62	4772,48	7763,34	25055,59
<b>LIPANJ</b>	-1141,74	-384,88	7512,91	26063,94
<b>SRPANJ</b>	-11011,48	-3711,93	7763,34	27279,50
<b>KOLOVOZ</b>	-9831,68	-3314,22	7763,34	25561,59
<b>RUJAN</b>	7231,04	2437,56	7512,91	21910,25
<b>LISTOPAD</b>	22022,97	7423,86	7763,34	18910,57
<b>STUDENI</b>	37296,96	12572,66	7512,91	10037,80
<b>PROSINAC</b>	52697,81	17764,23	7763,34	5316,94

Tablica 6.10 Mjesečni rezultati ukupno potrebne energije za grijanje prije energetske obnove

MJESEC	$Q_{v+t}$ [kWh]	$Q_{i+s}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd,cont,m}$ [kWh/mj]	$\alpha_{H,red}$	$Q_{H,nd,cont,a}$ [kWh/mj]
<b>SIJEČANJ</b>	76246,24	16009,36	0,99	60365,73	0,80	48434,08
<b>VELJAČA</b>	68867,57	20317,36	0,98	48949,20	0,72	35355,02
<b>OŽUJAK</b>	62574,50	26977,28	0,95	36939,42	0,59	21947,90
<b>TRAVANJ</b>	43254,26	28924,75	0,87	18021,27	0,39	7028,30
<b>SVIBANJ</b>	18930,10	32818,93	0,52	1794,25	0,39	699,76
<b>LIPANJ</b>	-1526,62	33576,85	0,001	0	0,39	0
<b>SRPANJ</b>	-14723,40	35042,84	0,001	0	0,39	0
<b>KOLOVOZ</b>	-13145,90	33324,93	0,001	0	0,39	0
<b>RUJAN</b>	9668,60	29423,16	0,32	249,35	0,39	97,25
<b>LISTOPAD</b>	29446,83	26673,91	0,78	8592,40	0,39	3351,04
<b>STUDENI</b>	49869,62	17550,71	0,97	32855,52	0,67	21970,68
<b>PROSINAC</b>	70462,04	13080,28	0,99	57457,24	0,83	47416,60
<b>UKUPNO</b>						<b>186300,60</b> <b>kWh/god</b>

U tablici 6.11 izračunat je broj grijanih dana na temelju potrebne toplinske energije za grijanje u sustavu s nekontinuiranim radom. Iz tablice se može iščitati kako se u prijelaznim mjesecima (svibanj te listopad) grije djelomično, a od studenog do travnja grijanje je cijeli mjesec u radu. Ukupan broj grijanih dana prije energetske obnove iznosi 207 dana.

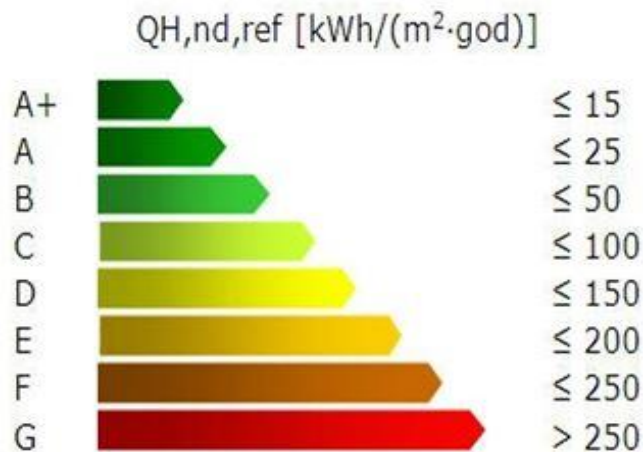
Tablica 6.11 Izračun broja grijanih dana prije energetske obnove

MJESEC	$y_H$	$y_{H,1}$	$y_{H,2}$	$y_{H,lim}$	$f_H$	$L_{H,m}$ [dana]
<b>SIJEČANJ</b>	0,21	0,20	0,25	1,34	1	31
<b>VELJAČA</b>	0,30	0,25	0,36	1,34	1	28
<b>OŽUJAK</b>	0,43	0,36	0,55	1,34	1	31
<b>TRAVANJ</b>	0,67	0,55	1,20	1,34	1	30
<b>SVIBANJ</b>	1,73	1,20	500,87	1,34	0,13	4,03
<b>LIPANJ</b>	1000	500,87	1000	1,34	0	0
<b>SRPANJ</b>	1000	1000	1000	1,34	0	0
<b>KOLOVOZ</b>	1000	501,52	1000	1,34	0	0
<b>RUJAN</b>	3,04	1,97	501,52	1,34	0	0
<b>LISTOPAD</b>	0,91	0,63	1,97	1,34	0,70	21,7
<b>STUDENI</b>	0,35	0,27	0,63	1,34	1	30
<b>PROSINAC</b>	0,19	0,20	0,27	1,34	1	31
<b>UKUPNO</b>						<b>206,73 dana</b>

Toplinska energija koja je potrebna po jedinici korisne površine računa se prema jednadžbi (6.26). Na temelju tog podatka objekti se mogu svrstati u određene energetske razrede. Na slici 6.1. prikazana je skala kojom se objekti svrstavaju u energetske razrede. U slučaju dječjeg vrtića u Zadru specifična godišnja potrošnja prije energetske obnove iznosi  $107,12 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$  i time je uvršten u energetske razred D.

$$Q''_{H,nd} = \frac{Q_{H,nd,cont,a}}{A_k} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] \quad (6.27)$$

$$Q''_{H,nd} = \frac{186300,60}{1739,1} = 107,12 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$$



Slika 6.1 skala za klasifikaciju energetske razreda

#### 6.2.7. Rezultati proračuna godišnje potrebne energije za grijanje nakon energetske obnove

U tablicama 6.12 i 6.13 prikazani su rezultati proračuna ukupno potrebne energije za grijanje nakon energetske obnove. Najveća potreba za grijanjem je u siječnju, a u ljetnim mjesecima potrebe za grijanjem nema.

Tablica 6.12 Mjesečni rezultati toplinskih gubitaka i dobitaka nakon energetske obnove

MJESEC	$Q_{Tr}$ [kWh]	$Q_{Ve}$ [kWh]	$Q_{int}$ [kWh]	$Q_{sol}$ [kWh]
SIJEČANJ	17710,34	15573,34	7763,34	12334,57
VELJAČA	15996,43	14066,24	7012,05	16672,97
OŽUJAK	14534,69	12780,88	7763,34	22657
TRAVANJ	10047,02	8834,71	7512,91	24541,06
SVIBANJ	4397,05	3866,48	7763,34	28087,25
LIPANJ	-354,60	-311,81	7512,91	28875,37
SRPANJ	-3419,93	-3007,27	7763,34	30169,73
KOLOVOZ	-3053,51	-2685,06	7763,34	28583,04
RUJAN	2245,80	1974,82	7512,91	25043,55
LISTOPAD	6839,85	6014,53	7763,34	22405,31
STUDENI	11583,62	10185,90	7512,91	13884,12
PROSINAC	16366,79	14391,92	7763,34	9560,37

Tablica 6.13 Mjesečni rezultati ukupno potrebne energije za grijanje nakon energetske obnove

MJESEC	$Q_{v+t}$ [kWh]	$Q_{i+s}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd,cont,m}$ [kWh/mj]	$\alpha_{H,red}$	$Q_{H,nd,cont,a}$ [kWh/mj]
<b>SIJEČANJ</b>	33283,68	20097,91	0,97	13715,61	0,75	10311,80
<b>VELJAČA</b>	30062,67	23685,02	0,93	8122,55	0,68	5492,47
<b>OŽUJAK</b>	27315,57	30420,34	0,80	3097,18	0,54	1679,59
<b>TRAVANJ</b>	18881,73	32053,97	0,58	448,47	0,39	174,90
<b>SVIBANJ</b>	8263,53	35850,59	0,23	2,14	0,39	0,83
<b>LIPANJ</b>	-666,41	36388,28	0,001	0	0,39	0
<b>SRPANJ</b>	-6247,2	37933,07	0,001	0	0,39	0
<b>KOLOVOZ</b>	-5738,57	36346,38	0,001	0	0,39	0
<b>RUJAN</b>	4220,62	32556,46	0,13	0,05	0,39	0,02
<b>LISTOPAD</b>	12854,38	30168,65	0,42	70,86	0,39	27,64
<b>STUDENI</b>	21769,52	21397,03	0,85	3535,86	0,60	2107,52
<b>PROSINAC</b>	30758,71	17323,71	0,98	13774,56	0,77	10586,1
<b>UKUPNO</b>						<b>30380,87</b> <b>kWh/god</b>

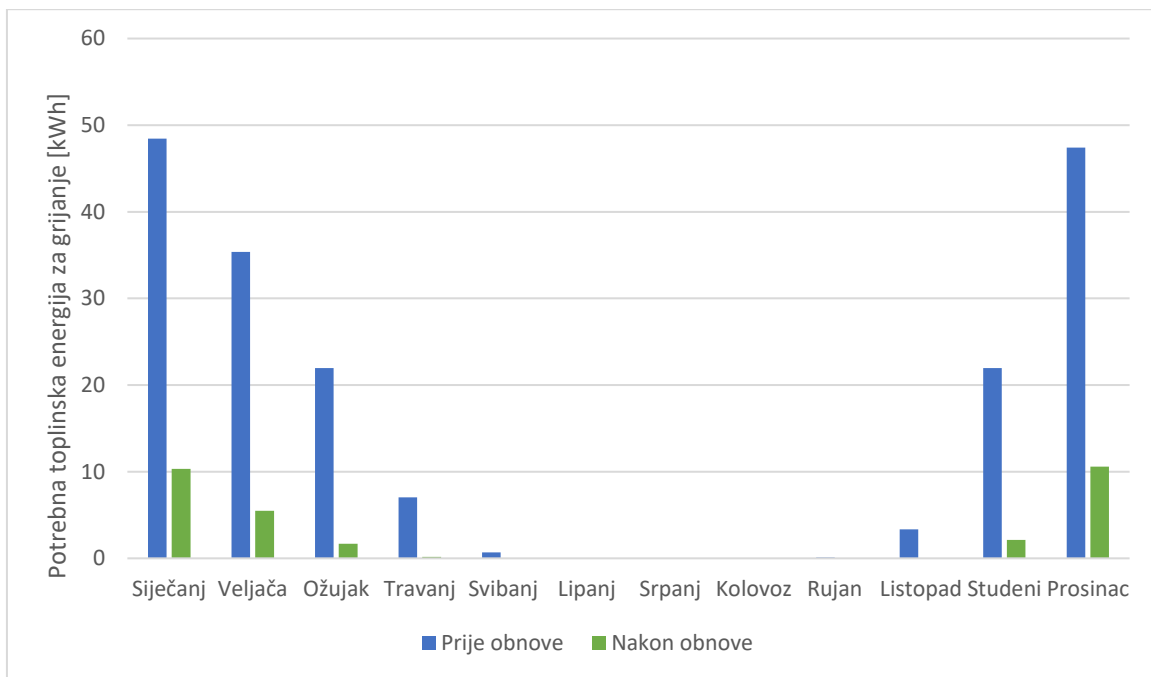
U tablici 6.14 izračunat je broj grijanih dana nakon energetske obnove. Broj grijanih dana nakon energetske obnove iznosi 129 te se broj grijanih dana znatno smanjio u odnosu na broj grijanih dana prije energetske obnove (78 dana manje je potrebno grijati).

Tablica 6.14 Izračun broja grijanih dana nakon energetske obnove

MJESEC	$y_H$	$y_{H,1}$	$y_{H,2}$	$y_{H,lim}$	$f_H$	$L_{H,m}$ [dana]
<b>SIJEČANJ</b>	0,60	0,58	0,70	1,18	1	31
<b>VELJAČA</b>	0,79	0,70	0,95	1,18	1	28
<b>OŽUJAK</b>	1,11	0,95	1,41	1,18	0,62	19,22
<b>TRAVANJ</b>	1,70	1,41	3,02	1,18	0	0
<b>SVIBANJ</b>	4,34	3,02	502,17	1,18	0	0
<b>LIPANJ</b>	1000	502,17	1000	1,18	0	0
<b>SRPANJ</b>	1000	1000	1000	1,18	0	0
<b>KOLOVOZ</b>	1000	503,86	1000	1,18	0	0
<b>RUJAN</b>	7,71	5,03	503,86	1,18	0	0
<b>LISTOPAD</b>	2,35	1,66	5,03	1,18	0	0
<b>STUDENI</b>	0,98	0,77	1,66	1,18	0,65	19,5
<b>PROSINAC</b>	0,56	0,58	0,77	1,18	1	31
<b>UKUPNO</b>						<b>128,72</b>

Specifična godišnja potrošnja izračunata je prema izrazu 6.27 te iznosi 17,47 čime je dječji vrtić uvršten u energetske razred A (prema slici 6.1).

$$Q''_{H,nd} = \frac{30380,87}{1739,1} = 17,47 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$$



*Slika 6.2 Usporedba potrebne toplinske energije za grijanje po mjesecima prije i nakon energetske obnove*



## 7. PRORAČUN POTROŠNE TOPLE VODE

Prema danoj arhitektonskoj podlozi dječji vrtić ima ukupno 10 prostorija za djecu. Pod pretpostavkom da u svakoj prostoriji boravi 20 osoba (djeca + odgajateljice) ukupni broj osoba u vrtiću iznosi 200. Iz Recknagelova priručnika iščitano je da škole bez tuševa imaju potrošnju između 5 i 15 l po učeniku dnevno. Pretpostavivši da je dječji vrtić slične potrošnje kao i škola dobivena je potreba od 2000 l tople vode dnevno.

Volumen spremnika PTV-a potrebno je dimenzionirati kako bi se stvorile zalihe zbog prekida u grijanju. Iz tog razloga se prilikom dimenzioniranja spremnika uzimaju u obzir podaci o kratkotrajnom učinku (deset-minutni učinak). Iz informacijskog lista Vicotell 100 - V, s volumenom spremnika od 1000 litara i temperaturom ogrjevnice vode polaznog voda od 90°C, kratkotrajni učinak za zagrijavanje pitke vode s 10°C na 45°C iznosi 939 l/10 min, slika 7.1.

**Kratkotrajni učin (tijekom 10 minuta)**  
U odnosu na učinski koeficijent  $N_L$ .  
Zagrijavanje pitke vode s 10 na 45 °C.

Volumen spremnika	160	200	300	500	750	1000
<b>Kratkotrajni učin (l/10 min) kod temperature ogrjevnice vode polaznog voda</b>						
90 °C	210	262	407	618	898	962
80 °C	207	252	399	583	814	939
70 °C	199	246	385	540	704	898

*Slika 7.1 Kratkotrajni učinak odabranog spremnika PTV-a*

Podaci koji su potrebni za proračun spremnika PTV-a prikazani su u tablici 7.1.

*Tablica 7.1 Ulazni podaci za proračun spremnika PTV-a*

$N_{umivaonik}$ [-]	$V_{umivaonik}$ [l/min]	$t_{vršno}$ [min]	$V_{kratkotrajno}$ [l/min]
20	5	10	962

Ukupan broj spremnika potrošne tople vode računa se prema jednadžbi (7.1).

$$n_{spr} = \frac{V_{min} \cdot t_{vršno}}{V_{kratkotrajno}} \quad (7.1)$$

gdje je:

$V_{min}$  – minimalna potrošnja vode u jednoj minuti, izraz (7.2)  $\left[\frac{1}{\text{min}}\right]$ ,

$t_{vršno}$  – vrijeme vršnog opterećenja, [min],

$V_{kratkotrajno}$  – potrošnja kod kratkotrajnog učina,  $\left[\frac{1}{\text{min}}\right]$ ,

$$V_{min} = N_{umivaonik} \cdot V_{umivaonik} \quad \left[\frac{1}{\text{min}}\right] \quad (7.2)$$

$$V_{min} = 20 \cdot 5 = 100 \quad \left[\frac{1}{\text{min}}\right]$$

Gdje je:

$N_{umivaonik}$  – broj umivaonika [-],

$V_{umivaonik}$  - potrošnja vode po jednom umivaoniku,  $\left[\frac{1}{\text{min}}\right]$ .

Za pripremu potrošne tople vode potrebna su dva spremnika od 1000 l.

Potrebni ogrjevni učin računa se prema jednadžbi (7.3).

$$Q = \frac{c_p \cdot V_{spremnik} \cdot \Delta T_A}{Z_A} \quad [\text{W}] \quad (7.3)$$

$$Q = \frac{4187 \cdot 2000 \cdot 50}{2 \cdot 3600} = 58152,78 \quad [\text{W}]$$

gdje je:

$c_p$  - specifični toplinski kapacitet vode [kJ/kgK],

$V_{spremnik}$  - volumen spremnika PTV-a [l],

$\Delta T_A$  - temperaturna razlika između temperature PTV-a i ulazne temperature hladne vode [K],

$Z_A$  - vrijeme zagrijavanja, iskustvena vrijednost (2 h) [h]

Rezultati proračuna prikazani su u tablici 7.2.

*Tablica 7.2 Rezultati proračuna spremnika potrošne tople vode*

$V_{min}$ [l/min]	$n_{spr}$ [-]	$Z_A$ [h]	$c_p$ [J/kgK]	$\Delta T_A$ [K]	$V_{spremnik}$ [l]	$Q$ [W]
100	2,0	2	4187	50	1000	58152,78

Cjelokupno toplinsko opterećenje dječjeg vrtića (grijanje + PTV) iznosi 282,19 kW prije obnove, a 174,76 kW nakon obnove. Nakon što je izvršena energetska obnova, ukupno potrebno toplinsko opterećenje osiguravaju dva kondenzacijska plinska kotla ukupne snage 190 kW.

### 7.1. Izračun godišnje potrebne topline za pripremu PTV-a

Godišnja potrebna toplina za pripremu PTV-a računa se prema jednadžbi (7.4).

$$Q = \frac{c_p \cdot V_{spremnik} \cdot \Delta T_A \cdot N_{gr}}{3600} \quad (7.4)$$

$$Q = \frac{4,187 \cdot 2000 \cdot 50 \cdot 250}{3600} = 29076,39 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{god}} \right]$$

Gdje je:

$N_{gr}$  – broj radnih dana dječjeg vrtića [-]

## 7.2. Proračun spremnika UNP-a

Temeljem izračunatih toplinskih učina za zagrijavanje potrošne tople vode te toplinske energije za grijanje dječjeg vrtića bit će proračunata količina UNP-a koja treba biti raspoloživa.

Ukupna godišnja potrošnja UNP-a računa se prema formuli (7.5).

$$B_{god} = \frac{Q_{H,grijanje} + Q_{PTV}}{H_d} \left[ \frac{\text{kg}_{\text{UNP}}}{\text{god}} \right] \quad (7.5)$$

$$B_{god} = \frac{30380,87 + 29076,39}{12,8} = 4645,10 \left[ \frac{\text{kg}_{\text{UNP}}}{\text{god}} \right]$$

Gdje je:

$$H_d - \text{donja ogrjevna moć po kg UNP-a; } H_d = 12,8 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{kg}_{\text{UNP}}} \right]$$

Odabran je jedan spremnik UNP-a zapremine 2700 l, a količina punjenja po spremniku iznosi 1200 kg.

$$n_{punjenja,god} = \frac{B_{god}}{B_{spremnik}} \left[ \frac{\text{punjenja}}{\text{godina}} \right] \quad (7.6)$$

$$n_{punjenja,god} = \frac{4645,10}{1200} = 3,87 = 4 \left[ \frac{\text{punjenja}}{\text{godina}} \right]$$

Izrazom (7.6) izračunato je kako se spremnik UNP-a puni četiri puta u jednoj godini (otprilike svaka tri mjeseca).

## 8. PRORAČUN PLINSKE INSTALACIJE

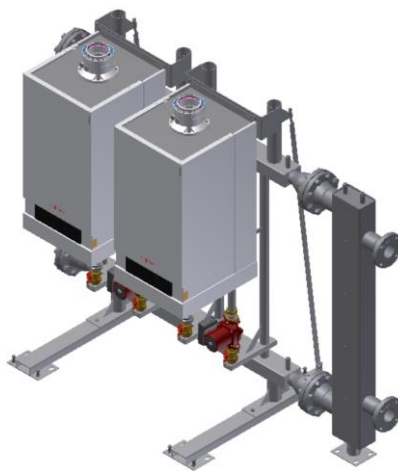
Ukupno toplinsko opterećenje sastoji se od topline za grijanje i topline za pripremu potrošne tople vode te ono iznosi 174,76 kW. Gubici u razvodu sustava grijanja kreću se između 5 – 10%. Usvojivši gubitke u razvodu sustava grijanja od 7%, potreban učin kotlova iznosi  $174,76/0,93 = 187,91$  kW odnosno 190 kW.

### 8.1. Odabir kotlova

Vitodens 200 – W (49 – 99 kW) kondenzacijski kotlovi vrlo su učinkoviti i pouzdani za komercijalnu uporabu. Dostupni su kao pojedinačni uređaji ili u kaskadnom spoju od maksimalno šest spojenih kotlova ukupnog učina do 594 kW . Stupanj iskoristivosti je do 98 %. Automatski prilagođen sustav omogućuje rad jednog kotla ako nema potrebe za radom svih spojenih uređaja.

Odabrana su dva Vitodens 200 – W kondenzacijska kotla toplinskog učina 95 kW kako bi se zadovoljilo toplinsko opterećenje od 190 kW. Maksimalni protok iznosi 5700 l/h kako bi se u  $\Delta T = 80/60$  °C postigao učin kondenzacijskog kotla. Promjer priključka kotla na dimnjaču iznosi 100 mm, a promjer dimnjače i dimnjaka iznosi 200 mm.

Kotlovi se nalaze u kotlovnici čija je površina 25,7 m<sup>2</sup> te su povezani kako je prikazano slikom 8.1.



*Slika 8.1 Dva spojena kondenzacijska kotla*

## 8.2. Pad tlaka u plinskim instalacijama

U spremniku UNP-a vlada tlak od 4 – 6 bar, nakon prve redukcije tlak iznosi 1,7 bar dok na ulazu u kotao iznosi 1,05 bar. Spremnik ukapljenog naftnog plina povezan je cijevima do kotlovnice.

Plinska instalacija sastoji se od jednog spremnika UNP- a zapremnine 2700 l pored kojeg se nalazi prvi reduktor te se nadzemno i podzemno vodi do interventnog (protupožarnog) ventila koji je smješten u plinskom ormariću dječjeg vrtića. Zatim se instalacija vodi do naprava u kotlovnici.

### 8.2.1. Pad tlaka na srednjetačnoj instalaciji

Srednjetačni dio instalacije vodi od prvog reduktora do plinskog ormarića. Ukupna duljina instalacije iznosi 10 m, od toga 4 m čeličnih nadzemnih cijevi i 6 m polietilenskih cijevi. Maksimalna dopuštena brzina strujanja plina unutar cijevi iznosi 3 m/s. Apsolutni izlazni tlak iz regulatora I. stupnja iznosi 1,7 bar, a toplinski učin iznosi 174,76 kW.

Maseni protok instalacije dobivamo jednadžbom (8.1).

$$m_{st.inst.} = \frac{3600 \cdot Q}{H_d} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \quad (8.1)$$

$$m_{st.inst.} = \frac{3600 \cdot 174,76}{46000} = 13,68 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Gdje je:

$H_d$  – donja ogrjevna moć UNP-a, 46000 kJ/kg

Gustoću UNP-a računamo prema jednadžbi (8.2.)

$$\rho_{UNP} = \frac{m \cdot p_1}{R \cdot T} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (8.2)$$

$$\rho_{UNP} = \frac{53,2 \cdot 170000}{8314 \cdot 288,15} = 3,78 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

gdje je:

$m$  – molna masa sudionika u 1 kg smjese

$p_1$  – apsolutni tlak na ulazu u instalaciju [Pa]

$R$  – opća plinska konstanta,  $R = 8314 \frac{\text{J}}{\text{kmol K}}$

$T$  – temperatura plina na početku instalacije,  $T = 15^\circ\text{C} = 288,15 \text{ K}$

Volumni protok plina računamo temeljem jednadžbe (8.3).

$$V = \frac{m_{st.inst.}}{\rho_{UNP}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (8.3)$$

$$V = \frac{13,68}{3,78} = 3,62 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Unutarnji promjer instalacije računa se prema jednadžbi (8.4).

$$d_{u,min} = \sqrt{\frac{4 \cdot m_{st.inst.}}{3600 \cdot w_{max} \cdot \pi \cdot \rho_{UNP}}} \quad [\text{m}] \quad (8.4)$$

$$d_{u,min} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13,68}{3 \cdot \pi \cdot 3,78}} = 0,02 \text{ m} = 20 \text{ mm}$$

Temeljem izračunatog unutarnjeg promjera plinske instalacije, iz strojarskog priručnika odabire se nazivni promjer čeličnih bešavnih cijevi i polietilenskih cijevi te je izračunat stvarni unutarnji promjer za DN 32.

$$d_{u,min,\check{c}} = 42,4 - 2 \cdot 2,6 = 37,2 \text{ mm} = 0,0372 \text{ m}$$

$$d_{u,min,PEHD} = 32 - 2 \cdot 2,3 = 27,4 \text{ mm} = 0,0274 \text{ m}$$

Stvarnu brzinu računamo pomoću unutarnjeg promjera odabrane cijevi i volumnog protoka, izraz (8.5).

$$w_{stv} = \frac{V}{\frac{d_u^2 \cdot \pi}{4}} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (8.5)$$

Dinamički viskozitet plinske smjese za  $T=15^\circ\text{C}$  i tlaka  $p < 20$  bar računato je prema formuli (8.6).

$$\eta = \frac{\sum r_i \cdot \eta_i \cdot \sqrt{M_i \cdot T_{kr}}}{\sum r_i \cdot \sqrt{M_i \cdot T_{kr}}} \quad (8.6)$$

$$\eta = \frac{0,35 \cdot 7,3 \cdot \sqrt{44 \cdot 370} + 0,65 \cdot 8 \cdot \sqrt{58 \cdot 425}}{0,35 \cdot \sqrt{44 \cdot 370} + 0,65 \cdot \sqrt{58 \cdot 425}} = 7,79 \cdot 10^{-6} \text{Pas}$$

Reynoldsov broj se računa prema jednadžbi (8.7).

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho_{UNP}}{\eta} \quad (8.7)$$

Faktor trenja za turbulentno strujanje računa se prema jednadžbi (8.8).


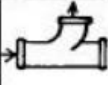

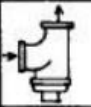

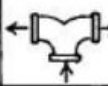

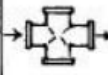

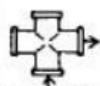




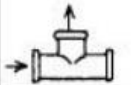



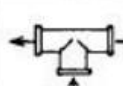

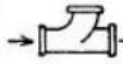

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[ \left( \frac{e}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} \quad (8.8)$$

gdje je:

$e$  – faktor hrapavosti; za čelične cijevi iznosi  $e = 0,1$  mm, a za polietilenske cijevi iznosi  $e = 0,01$  mm

Lokalni gubici nastaju uslijed promjene toka, a njihovi koeficijenti očitani su iz Plinarskog priručnika, slika 8.2.



Red. br.	MJESNI OTPOR	$\xi$	Red. br.	MJESNI OTPOR	$\xi$
1	 Redukcija	0.5	12	 T - luk Razdvajanje protoka, odvojak	1.3
2	 Etažni luk	0.5	13	 T - luk za čišćenje	1.3
3	 Koljeno 90°	1.5	14	 T - luk Razdvajanje protoka u suprotnim smjerovima	1.5
4	 Koljeno 45°	0.7	15	 Križni komad 90° Razdvajanje protok	0
5	 Luk 90°	0.4	16	 Križni komad 90° Razdvajanje odvojak	1.5
6	 Luk 45°	0.3	17	 Križni komad 90° za čišćenje, raz- dvajanje prolaz	0
7	 T - komad 90° Razdvajanje protoka prolaz	0	18	 Križni komad 90° za čišćenje, raz- dvajanje odvojak	1.5
8	 T - komad 90° Razdvajanje protoka odvojak	1.5	19	 Slavina DIN 3525, DIN 3526	2.0
9	 T - komad 90° za čišćenje	1.5	20	 Kutna slavina DIN 3531	5.0
10	 T - komad 90° Razdvajanje protoka u suprotnim smjerovima	3.0	21	 Zasun DIN 3216	0.5
11	 T - luk Razdvajanje protoka, prolaz	0	22	 Odvojač kondenza- ta	2.0

Slika 8.2 Koeficijenti lokalnih gubitaka

Duljina lokalnih otpora računa se izrazom (8.9).

$$L_{lok} = \frac{\sum \zeta \cdot d_u}{\lambda} \quad (8.9)$$

Ukupna duljina otpora suma je lokalnih i dužinskih otpora, izraz (8.10).

$$L_{uk} = L_{duž} + L_{lok} \quad (8.10)$$

gdje je:

$\sum \zeta$  – suma spojenih elemenata na instalaciji koji stvaraju lokalne otpore

$L_{duž}$  – duljina cijevi [m]

Tlak na izlazu računava se prema jednadžbi (8.11).

$$p_2 = \sqrt{p_1^2 - \frac{\lambda \cdot Z \cdot L_{uk} \cdot w_{st}^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u}} \quad (8.11)$$

$Z$  – faktor kompresibilnosti,  $Z = 1$

Pad tlaka na srednjetačnoj instalaciji računava se kao razlika početnog i izlaznog tlaka, izraz (8.12).

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad (8.12)$$

Temeljem ranije prikazanih izraza, izračunati su padovi tlaka za srednjetačni dio instalacije koji se sastoji od tri dijela. Prvi dio čine čelične bešavne cijevi ukupne duljine 2,5 m početnog tlaka od 170000 Pa. Čelične bešavne cijevi sastoje se od dva koljena i jednog ventila koji stvaraju dodatne otpore. Drugi dio čine polietilenske cijevi (za podzemno polaganje cjevovoda) koje se polažu na dubinu od 0,6 – 1 m ispod razine zemljišta te se oblažu finim pijeskom debljine 15 cm i označuju trakom. Ukupna duljina polietilenskih cijevi iznosi 6 m, a početni tlak u cijevima iznosi 169992,55 Pa. Polietilenske cijevi sastoje se od dva koljena koji stvaraju dodatne otpore. Posljednji dio srednjetačne instalacije sastoji se od 1,5 m čeličnih bešavnih cijevi koje imaju jedno koljeno i jedan ventil koji stvaraju dodatne otpore. Rezultati su prikazani tablično, tablica 8.1.

Tablica 8.1 Rezultati proračuna pada tlaka na srednjetačnoj instalaciji

$w_{stv}$	$Re$	$\lambda$	$\sum \zeta$	$L_{lok}$	$L_{uk}$	$p_2$	$\Delta p$
0,77	13899,14	0,032	4,5	5,23	7,73	169992,55	7,45
1,42	18879,62	0,027	3	3,04	9,04	169958,60	33,95
0,77	13899,14	0,032	3	3,49	4,99	169953,79	4,81
$\sum \Delta p$							46,21

### 8.2.2. Pad tlaka na niskotlačnoj instalaciji

Niskotlačna instalacija – od interventnog ventila i regulatora II. stupnja do naprava u kotlovnici duljine je 6 m. Maksimalna brzina strujanja iznosi 2,5 m/s, a tlak iza regulatora II. stupnja iznosi 169953,79 Pa, a učin prema kotlovnici iznosi 174,76 kW.

Maseni protok izračunat je iz izraza (8.1).

$$m_{st.inst.} = \frac{3600 \cdot 174,76}{46000} = 13,68 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Gustoća je izračunata iz izraza (8.2).

$$\rho_{UNP} = \frac{53,2 \cdot 105000}{8314 \cdot 288,15} = 2,33 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Volumni se protok izračunava iz izraza (8.3).

$$V = \frac{13,68}{2,33} = 5,87 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Unutarnji promjer srednjetlačne instalacije izračunat je prema izrazu (8.4).

$$d_{u,min} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13,68}{3600 \cdot 2,5 \cdot \pi \cdot 2,33}} = 0,028 \text{ m} = 28 \text{ mm}$$

Iz Krautova strojarskog priručnika odabrana je čelična bešavna cijev DN 32.

Rezultati proračuna niskotlačne instalacije dani su tablično. Niskotlačna instalacija prema kotlovnici sastoji se od pet koljena i tri ventila s termičkim osiguračem koji stvaraju otpore, a njegovi su koeficijenti lokalnih gubitaka očitani sa slike 8.2.

*Tablica 8.2 Rezultati proračuna pada tlaka na niskotlačnoj instalaciji*

$w_{stv}$	$Re$	$\lambda$	$\sum \zeta$	$L_{lok}$	$L_{uk}$	$p_2$	$\Delta p$
1,25	13908,22	0,032	12	13,95	19,95	169940,38	13,41

### 8.3. Proračun dimnjaka

Proračun dimnjaka izvršen je prema DIN 4705. Kondenzacijski kotlovi opremljeni su ventilatorom koji je potreban kako bi se savladali otpori strujanja u dimnjaku. Proračunom se utvrđuje je li dostatna razlika tlakova kako bi se savladali gubici strujanja za određenu količinu produkata izgaranja.

Minimalno potrebna količina kisika za izgaranje UNP-a računa se prema jednadžbi (8.13).

$$o_m = \left(x + \frac{y}{4}\right) \cdot C_x H_y \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{m}_n^3}\right] \quad (8.13)$$

$$o_m = \left(3 + \frac{8}{4}\right) \cdot 0,35 + \left(4 + \frac{4}{10}\right) \cdot 0,65 = 5,975 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{m}_n^3}\right]$$

Minimalna količina zraka za izgaranje, izraz (8.14):

$$l_{min} = \frac{o_m}{0,21} \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{m}_n^3}\right] \quad (8.14)$$

$$l_{min} = \frac{5,975}{0,21} = 28,45 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{m}_n^3}\right]$$

Stvarna količina zraka za izgaranje računa se prema izrazu (8.15).

$$l = l_{min} \cdot \lambda \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{m}_n^3}\right] \quad (8.15)$$

$$l = 28,45 \cdot 1,15 = 32,72 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{m}_n^3}\right]$$

gdje je :

$\lambda$  – pretičak (višak) zraka za izgaranje,  $\lambda = 1,15$

Sastav i količina dimnih plinova računa se prema izrazima (8.16), (8.17), (8.18) te (8.19).

$$[CO_2] = \sum x \cdot C_x H_y \left[ \frac{m_n^3}{m_n^3} \right] \quad (8.16)$$

$$[CO_2] = 0,35 \cdot 3 + 0,65 \cdot 4 = 3,65 \left[ \frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

$$[O_2] = 0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot l_{min} \left[ \frac{m_n^3}{m_n^3} \right] \quad (8.17)$$

$$[O_2] = 0,21 \cdot (1,15 - 1) \cdot 28,45 = 0,90 \left[ \frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

$$[N_2] = 0,79 \cdot \lambda \cdot l_{min} \left[ \frac{m_n^3}{m_n^3} \right] \quad (8.18)$$

$$[N_2] = 0,79 \cdot 1,15 \cdot 28,45 = 25,85 \left[ \frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

$$[H_2O] = \sum \frac{1}{2} \cdot y \cdot C_x H_y \left[ \frac{m_n^3}{m_n^3} \right] \quad (8.19)$$

$$[H_2O] = \frac{1}{2} \cdot (8 \cdot 0,35 + 10 \cdot 0,65) = 4,65 \left[ \frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

Ukupna se količina dimnih plinova računa kao suma sastava pojedinih sudionika dimnih plinova kao što je prikazano izrazom (8.20).

$$v_{vl} = [CO_2] + [O_2] + [N_2] + [H_2O] \left[ \frac{m_n^3}{m_n^3} \right] \quad (8.20)$$

$$v_{vl} = 3,65 + 0,90 + 25,85 + 4,65 = 35,05 \left[ \frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

Udio dimnih plinova u ukupnoj količini dimnih plinova računaju se izrazima (8.21), (8.22), (8.23) te (8.24).

$$r_{CO_2} = \frac{|CO_2|}{v_{vl}} \quad (8.21)$$

$$r_{CO_2} = \frac{3,65}{35,05} = 0,1041 = 10,41\%$$

$$r_{O_2} = \frac{|O_2|}{v_{vl}} \quad (8.22)$$

$$r_{O_2} = \frac{0,90}{35,05} = 0,0257 = 2,57\%$$

$$r_{N_2} = \frac{|N_2|}{v_{vl}} \quad (8.23)$$

$$r_{N_2} = \frac{25,85}{35,05} = 0,7375 = 73,75\%$$

$$r_{H_2O} = \frac{|H_2O|}{v_{vl}} \quad (8.24)$$

$$r_{H_2O} = \frac{4,65}{35,05} = 0,1327 = 13,27\%$$

Kotlovnica je opremljena s dva kondenzacijska kotla u kaskadnoj izvedbi, ukupne snage 190 kW. Ukupni toplinski učin kotlovnice iznosi 174,76 kW, a volumni protok dimnih plinova računat je prema jednadžbi (8.25).

$$V_{DP} = v_{vl} \cdot \left( \frac{3600 \cdot Q_{kot}}{H_d} \right) \left[ \frac{m^3}{h} \right] \quad (8.25)$$

$$V_{DP} = 35,05 \cdot \left( \frac{3600 \cdot 174,76}{108937,74} \right) = 202,42 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

gdje je:

$H_d$  – donja ogrjevna moć, izraz 8.26.

$$H_d = C_3H_8' \cdot H_{d(C_3H_8)} + C_4H_{10}' \cdot H_{d(C_4H_{10})} \quad (8.26)$$

$$H_d = 0,35 \cdot 2041400 + 0,65 \cdot 2654934 = 2440197,1 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right] = \frac{2440197,1}{22,4} = 108937,37 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{m}_n^3} \right]$$

Molarne mase svih sudionika sastava dimnih plinova očitane su iz periodnog sustava elemenata te su prikazani u tablici 8.2.

Tablica 8.3 Molarne mase sastava dimnih plinova

Naziv sudionika	Molarna masa sudionika – $M \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$
$CO_2$	44,01
$O_2$	32,0
$N_2$	28,02
$H_2O$	18,016

Ukupna molarna masa dimnih plinova slijedi iz izraza (8.27).

$$m = \sum_i r_i m_i \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right] \quad (8.27)$$

$$m = 0,1041 \cdot 44,01 + 0,0257 \cdot 32,0 + 0,7375 \cdot 28,02 + 0,1327 \cdot 18,016 = 28,46 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$



Gustoća se izračunava prema izrazu (8.2) pri čemu su korišteni najnepovoljniji tlak te temperatura dimnih plinova:

$$\rho_{DP} = \frac{28,46 \cdot 95000}{8314 \cdot (80 + 273,15)} = 0,92 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Gustoća zraka za najnepovoljniji tlak i temperaturu izračunata prema izrazu (8.2) iznosi:

$$\rho_{ZR} = \frac{28,95 \cdot 95000}{8314 \cdot (15 + 273,15)} = 1,15 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Uzgon u dimnjaku kod toplinskog učina dva kondenzacijska kotla, izraz (8.28):

$$U = H \cdot g \cdot (\rho_{ZR} - \rho_{DP}) \cdot f_{pog} [\text{Pa}] \quad (8.28)$$

$$U = 8 \cdot 9,81 \cdot (1,15 - 0,92) \cdot 0,95 = 17,15 [\text{Pa}]$$

gdje je:

$H$  – visina dimnjaka [m], prema plinarskom priručniku visina dimnjaka za ložišta do 200 kW iznosi 1,5 m iznad ravnog krova. Visina dječjeg vrtića je 6 m pa je usvojena visina dimnjaka od  $H = 8$  m.

$g$  – gravitacijska sila,  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$f_{pog}$  – faktor pogona, za prekidni pogon,  $f_{pog} = 0,95$

Brzina strujanja dimnih plinova u dimnjaku računa se prema jednadžbi (8.29), a promjer dimnjače i dimnjaka iznosi 200 mm prema podacima od proizvođača.

$$w_{DP} = \frac{4 \cdot V_{DP}}{d_u^2 \cdot \pi} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (8.29)$$

$$w_{DP} = \frac{4 \cdot 202,42 \cdot \left( \frac{353,15}{288,15} \right) \cdot \left( \frac{101325}{95000} \right)}{3600 \cdot 0,2^2 \cdot \pi} = 2,34 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Reynoldsov broj računamo prema jednadžbi (8.7), a dinamički viskozitet iznosi  $\eta = 20,45 \cdot 10^{-6}$ .

$$Re = \frac{2,34 \cdot 0,2 \cdot 0,92}{20,45 \cdot 10^{-6}} = 21054,28$$

Faktor trenja za turbulentno strujanje računa se prema jednadžbi (8.8) i iznosi:

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[ \left( \frac{0,0001}{0,2} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{21054,28} \right] \right\}^{-2} = 0,026$$

Koeficijenti lokalnih gubitaka očitani su sa slike 8.2. Dimnjak ima jedno koljeno i jedan T-komad pa koeficijenti lokalnih gubitaka iznose:

$$\sum \zeta = 1 \cdot 1,5 + 1 \cdot 1,5 = 3$$

Pad tlaka zbog strujanja dimnih plinova računa se jednadžbama (8.30) te (8.31).

$$\Delta p_D = 1,5 \cdot \left( \frac{\lambda}{d_u} \cdot L + \sum \zeta \right) \cdot \frac{\rho_{dp} \cdot w^2}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (8.30)$$

$$\Delta p_D = 1,5 \cdot \left( \frac{0,026}{0,2} \cdot (8 + 2) + 3 \right) \cdot \frac{0,92 \cdot 2,34^2}{2} = 16,25 \quad [\text{Pa}]$$

$$\Delta p_{ef} = \Delta p_D - U \quad [\text{Pa}] \quad (8.31)$$

$$\Delta p_{ef} = 16,25 - 17,15 = -0,9 \text{ Pa} [\text{Pa}]$$

Iz specifikacija proizvođača, ventilator kondenzacijskog kotla može zadovoljiti pad tlaka od 250 Pa.

#### 8.4. Proračun kotlovnice

Kotlovnica se nalazi na istočnoj strani dječjeg vrtića, u prizemlju objekta. Podaci o kotlovnici dani prikazani su u tablici 8.4.

Tablica 8.4 Podaci o kotlovnici

Površina kotlovnice – $A_{kot}$ [m <sup>2</sup> ]	Učin kotlovnice – $Q_{kot}$ [kW]	Visina kotlovnice – $H_{kot}$ [m]	Volumen kotlovnice – $V_{kot}$ [m <sup>3</sup> ]
25,7	190	3,25	83,525

Visina kotlovnice iznosi 3,25 m, a površina kotlovnice iznosi 25,7 m<sup>2</sup> i time su zadovoljeni svi uvjeti za kotlovnicu učina 190 kW.

Najmanja površina otvora za dovod zraka u kotlovnici za trošilo B vrste:

Za kotlovnici čiji je toplinski učin iznosi manje od 1200 kW koristi se jednačba (8.32).

$$A_{dov,min} = 5,8 \cdot Q \text{ [cm}^2\text{]} \text{ (8.32)}$$

$$A_{dov,min} = 5,8 \cdot 190 = 1102 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Potrebno je da površina za dovod zraka bude veća od najmanje površine otvora za dovod zraka te pretpostavljamo da ona iznosi:

$$A_{dov} = 3500 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Najmanja površina otvora za odvod zraka iz kotlovnice računa se kao trećina minimalne površine za dovod zraka, postavlja se na visinu od najmanje 2/3 unutarnje visine kotlovnice, izraz (8.33).

$$A_{odv,min} = \frac{1}{3} \cdot A_{dov,min} [\text{cm}^2] \quad (8.33)$$

$$A_{odv,min} = \frac{1}{3} \cdot 1102 = 367,33 [\text{cm}^2]$$

Površina otvora za odvod zraka treba biti veća od najmanje površine odvodnog otvora, pretpostavljamo da ona iznosi trećinu površine za dovod zraka, izraz (8.34).

$$A_{odv} = \frac{1}{3} \cdot A_{dov} [\text{cm}^2] \quad (8.34)$$

$$A_{odv} = \frac{1}{3} \cdot 3500 = 1166,67 [\text{cm}^2]$$

Minimalne površine za dovod i odvod zraka ne smiju biti manje od  $500 \text{ cm}^2$  i  $250 \text{ cm}^2$ . Na otvorima za dovod zraka, brzina zraka ne smije biti veća od  $1 \text{ m/s}$  te broj izmjena zraka u kotlovnici mora biti veći od  $5 \text{ h}^{-1}$ .

Količina zraka za izgaranje vršnog protočnog plina umnožak je minimalne količine zraka za izgaranje kojeg smo izračunali ranije (izraz 8.15) te iznosi  $32,72$ , maksimalni učin kotlovnice, donje ogrjevne moći i koeficijenta iskoristivosti koji iznosi  $0,9$ . Količinu zraka za izgaranje računamo formulom (8.35).

$$V_{izg} = l \cdot \frac{Q}{H_d \cdot \eta_{tr}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (8.35)$$

$$V_{izg} = 32,72 \cdot \frac{190 \cdot 3600}{108937,37 \cdot 0,9} = 228,27 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

$$w_{odv} = \sqrt{\frac{g \cdot H \cdot \frac{\Delta T}{T_{odv}}}{1 + \left( \frac{A_{odv}}{A_{dov}} \right)^2}} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (8.36)$$

$$w_{odv} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 2 \cdot \frac{3}{313}}{1 + \left( \frac{1166,67}{3500} \right)^2}} = 0,34 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

$$V_{odv} = w_{odv} \cdot A_{odv} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (8.37)$$

$$V_{odv} = 0,34 \cdot (1166,67 \cdot 10^{-4}) \cdot 3600 = 142,8 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

$$w_{dov} = \frac{V_{odv} + V_{izg}}{A_{dov}} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (8.38)$$

$$w_{dov} = \frac{142,8 + 228,27 \cdot \left( \frac{313}{288} \right)}{3600 \cdot 3500 \cdot 10^{-4}} = 0,31 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

$$V_k = f \cdot A_k \cdot H \quad (8.39)$$

$$V_k = 0,9 \cdot 25,7 \cdot 3,25 = 75,17 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{V_{odv}}{V_k} \quad (8.40)$$

$$n = \frac{142,8}{75,17} = 1,90$$

Broj izmjena zraka u kotlovnici mora biti veći od 5 što znači da se otvori za ventilaciju zraka moraju povećati.

Potrebni protok ventilacije kotlovnice računa se kao umnožak potrebne izmjene zraka ( $n=5 \text{ h}^{-1}$ ) i volumena zraka kotlovnice, kako je prikazano jednačbom (8.41).

$$V_{vent,k} = n \cdot V_k \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (8.41)$$

$$V_{vent,k} = 5 \cdot 75,17 = 375,85 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Potrebni protok zraka za ventilaciju kotlovnice i izgaranja računa se jednadžbom (8.42).

$$V_{uk} = V_{vent,k} + V_{izg} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (8.42)$$

$$V_{uk} = 375,85 + 228,27 \cdot \frac{313}{288} = 623,94 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Površina dovodnih otvora za zrak računa se kao omjer ukupnog potrebnog protoka zraka i brzine zraka u dovodnom otvoru, izraz (8.43).

$$A_{dov} = \frac{V_{uk}}{w_{dov}} [\text{m}^2] \quad (8.43)$$

$$A_{dov} = \frac{623,94}{3600 \cdot 0,31} = 0,5591 [\text{m}^2] = 5591 [\text{cm}^2]$$

Površina odvodnih otvora za zrak računa se kao omjer protoka ventilacije i brzine zraka u odvodnom otvoru, izraz (8.44).

$$A_{odv} = \frac{V_{vent,k}}{w_{odv}} [\text{m}^2] \quad (8.44)$$

$$A_{odv} = \frac{375,85}{3600 \cdot 0,34} = 0,3071 [\text{m}^2] = 3071 [\text{cm}^2]$$

Prva korekcija brzine u odvodnom otvoru:

$$w_{odv} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 2 \cdot \frac{3}{313}}{1 + \left(\frac{0,3071}{0,5591}\right)^2}} = 0,38 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Površina odvodnih otvora za zrak s brzinom prve korekcije

$$A_{odv} = \frac{375,85}{3600 \cdot 0,38} = 0,2747 \text{ m}^2 = 2747 \text{ cm}^2$$

Druga korekcija brzine:

$$w_{odv} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 2 \cdot \frac{3}{313}}{1 + \left(\frac{0,2747}{0,5591}\right)^2}} = 0,39 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Površina odvodnih otvora za zrak s brzinom druge korekcije:

$$A_{odv} = \frac{375,85}{3600 \cdot 0,39} = 0,2677 \text{m}^2 = 2677 \text{cm}^2$$

Treća korekcija brzine:

$$w_{odv} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 2 \cdot \frac{3}{313}}{1 + \left(\frac{0,2677}{0,5591}\right)^2}} = 0,39 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Površina odvodnih otvora za zrak s brzinom treće korekcije:

$$A_{odv} = \frac{375,85}{3600 \cdot 0,39} = 0,2677 \text{m}^2 = 2677 \text{cm}^2$$

$$w_{odv} = 0,39 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Protok zraka u odvodnom otvoru s brzinom i površinom odvodnih otvora zraka računamo jednadžbom:

$$V_{odv} = 0,39 \cdot 0,2677 \cdot 3600 = 375,85 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Provjera broja izmjena zraka:

$$n = \frac{375,85}{75,17} = 5 \text{ h}^{-1}$$

$$A_{dov} = 5591 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{odv} = 2677 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Za dovod zraka uzeta je protukišna žaluzina dimenzija 100 x 95 cm efektivne površine 60%, a za odvod zraka uzeta je protukišna žaluzina dimenzije 80 x 60 cm efektivne površine 60%.

$$A_{dov} = (100 \cdot 95) \cdot 0,6 = 5700 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{odv} = (80 \cdot 60) \cdot 0,6 = 2880 \text{ [cm}^2\text{]}$$



## 9. TROŠKOVNIK

### 9.1. Strojarski dio

r. br.	opis stavke	j. mjere	kol.
9.1.1.	Čelične bešavne cijevi DN 32	m	4
9.1.2.	Koljeno 90° 1 ¼ " DN 32	kom	8
9.1.3.	Polietilenske cijevi klase SDR 11 kvalitete PE 100 DN 32	m	6
9.1.4.	Prijelazni komad PE/Če, PE d32/ČeDN32	kom	2
9.1.5.	Koljeno 90° PE 100 d32	kom	2
9.1.6.	Čelične bešavne cijevi za plinsku i tekuću fazu od spremnika UNP - a do isparivača DN 25	m	2
9.1.7.	Koljeno 90° 1" DN 25	kom	4
9.1.8.	Redukcijski komad 1" - 1 ¼ " DN 25 – DN 32	kom	1
9.1.9.	Zaporni ventil za plin 1 " DN 25	kom	6
9.1.10.	Zaporni ventil za plin 1 ¼ " DN 32	kom	4
9.1.11.	Zaporni ventil s termičkim osiguračem 1 ¼ " DN 32	kom	2
9.1.12.	Termički sigurnosni ventil 1 ¼ " DN 32	kom	1
9.1.13.	Elektromagnetni ventil 1 ¼ " DN 32	kom	1
9.1.14.	Plinski ormarić za smještaj regulatora drugog stupnja i interventnog (protupožarnog) ventila dimenzija 600 x 600 x 250 mm	kom	1
9.1.15.	Metalni ormarić za smještaj isparivača	kom	1
9.1.16.	Plinomjer G - 10	kom	1
9.1.17.	Plinodojava	kom	1
9.1.18.	Antikorozivna zaštita čeličnog dijela plinske instalacije	kompl	1
9.1.19.	Ispitivanje instalacije na nepropusnost	kompl	1

## 9.2. Spremnik ukapljenog naftnog plina

r. br.	opis stavke	j. mjere	kol.
9.2.1.	Dobava i ugradnja spremnika ukapljenog naftnog plina volumena 2700 l. Spremnik za nadzemnu ugradnju. Dimenzije spremnika: promjer 1200 mm , duljina 2670 mm.	kom	1
9.2.2.	Dobava i ugradnja regulatora tlaka prvog stupnja (izlaz 1,7 bar)	kom	1
9.2.3.	Dobava i ugradnja regulatora tlaka drugog stupnja (izlaz 50 mbar)	kom	1
9.2.4.	Električni isparivač ZIMMER 25 kg/h s uključena dva kondenzacijska lonca	kom	1
9.2.5.	Dobava i ugradnja protupožarnog aparata S-9, punjenja 9 kg praha	kom	1
9.2.6.	Dobava i ugradnja sonde za uzemljenje autocisterne	kom	1
9.2.7.	Dobava i ugradnja žičane ograde oko spremnika visine 2,5 m, s vratima i bravom	m	16

## 9.3. Ispitivanje instalacije

r. br.	opis stavke	j. mjere	kol.
9.3.1.	Ispitivanje plinske instalacije na čvrstoću i nepropusnost s neutralnim plinom. Ispitivanje je potrebno izvršiti uz prisustvo nadzornog inženjera i predstavnika distributera plina. Nakon ispitivanja potrebno je izdati odgovarajući dokument.	kompl	1

## 9.4. Instalacije

r. br.	opis stavke	j. mjere	kol.
9.4.1.	Vanjska dozračna protukišna žaluzina za kotlovnicu dimenzija 100 x 95 cm	kom	1
9.4.2.	Vanjska odzračna protukišna žaluzina za kotlovnicu dimenzija 80 x 60 cm	kom	1
9.4.3.	Dobava i ugradnja plinskih kondenzacijskih kotlova Viessman Vitodens 200 - W, učina 95 kW	kom	2
9.4.4.	Spremnik za zagrijavanje PTV-a volumena 1000 l, model Vitocell 100 V tip CVA s odgovarajućom armaturom (osjetnik temperature, termometar i manometar)	kompl	2
9.4.5.	Priključni set kruga grijanja s cirkulacijskom pumpom	kompl	2
9.4.6.	Priključni set spremnika PTV-a	kompl	2
9.4.7.	Sustav za regulaciju Vitotronic 100, tip HC1B	kompl	1
9.4.8.	Sustav za odvodnju dimnih plinova 100/200 mm	kompl	1
9.4.9.	Koljeno 90° dimovodne cijevi 100/200 mm	kom	1
9.4.10.	Protupožarni aparati S-9	kom	3

## 10. ZAKLJUČAK

Tema ovog diplomskog rada bila je izrada projekta plinske instalacije na ukapljeni naftni plin za energetska obnovu zgrade dječjeg vrtića u Zadru. Diplomski rad sadrži izračune toplinskog opterećenja dječjeg vrtića, potrebnu energiju za grijanje, proračun potrošnje PTV-a te proračune plinskih instalacija koji se sastoje od izračuna padova tlaka srednjetačne te niskotlačne instalacije, proračun zrako - dimovodnog sustava te proračun kotlovnice.

Energetskom obnovom, odnosno postavljanjem odgovarajuće izolacije na ravni krov te vanjske zidove kao i zamjena stare stolarije novom toplinsko opterećenje smanjilo se za visokih 48 %.

Temeljem izračunatog toplinskog opterećenja koje nakon energetske obnove iznosi 174,76 kW izračunata je i godišnja potrebna energija za grijanje dječjeg vrtića kao i broj dana grijanja.

Godišnja potrebna energija za grijanje dječjeg vrtića nakon energetske obnove iznosi 30 380,87 kWh/god, a broj dana grijanja iznosi 129 (78 dana manje u odnosu na broj grijanih dana prije energetske obnove). Ukupno potrebno toplinsko opterećenje osiguravaju dva kondenzacijska plinska kotla ukupne snage 190 kW smještena u kotlovnici dječjeg vrtića.

Energent korišten za grijanje dječjeg vrtića i pripremu potrošne tople vode je ukapljeni naftni plin, a njegova ukupna potrošnja u jednoj godini iznosi 3509,30 kg/god. Proračunom je utvrđeno kako je potreban jedan spremnik UNP-a volumena 2700 l, mase punjenja 1200 kg te kako je spremnik potrebno puniti četiri puta u jednoj godini.

Pad tlaka na srednjetačnoj instalaciji iznosi 46,21 Pa, a pad tlaka na niskotlačnoj instalaciji prema kotlovnici iznosi 13,41 Pa.

Ukupni pad tlaka u dimnjaku iznosi – 0,9, a proračunom je utvrđen ispravan rad dimnjaka.

Proračunom kotlovnice izračunate su površine odvodnog i dovodnog otvora zraka potrebnog za provjetravanje kotlovnice. Površina dovodnog otvora iznosi 5700 cm<sup>2</sup>, a odvodnog 2880 cm<sup>2</sup>.

Na temelju proračuna i odabrane opreme izrađen je troškovnik.

## LITERATURA

- [1] Skupina autora : Plinarski priručnik; Energetika Marketing d.o.o., 7. izdanje, Zagreb 2014.
- [2] izomerija. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 8. 4. 2022. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=28338>>.
- [3] Labudović, B: Ukapljeni naftni plin-osnove primjene, Zagreb, Energetika Marketing d.o.o. 2007.
- [4] Pravilnik o ukapljenom naftnom plinu, NN 117/2007
- [5] [https://www.engineeringtoolbox.com/butane-d\\_1415.html](https://www.engineeringtoolbox.com/butane-d_1415.html)
- [6] [https://www.engineeringtoolbox.com/propane-d\\_1423.html](https://www.engineeringtoolbox.com/propane-d_1423.html)
- [7] [https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-fluids-d\\_151.html](https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-fluids-d_151.html)
- [8] prirodni plin. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=50450>
- [9] IZVJEŠĆE O SIGURNOSTI za područje postrojenja INA-INDUSTRIJA NAFTE d. d. LOGISTIKA, LOGISTIČKI TERMINALI REGIJA ZAGREB OBJEKAT UNP 1 ZAGREB Radnička 216  
<https://mingor.gov.hr/djelokrug/uprava-za-procjenu-utjecaja-na-okolis-i-odrzivo-gospodarenje-otpadom-1271/rizicna-postrojenja/izvjescia-o-sigurnosti-postupci/ina-industrija-nafte-d-d-pj-unp-terminal-zagreb/5392>.
- [10] Strelec, V. i dr.: ‘Plinski priručnik, 7.izd.’, Energetika marketing, Zagreb, 2014.
- [11] Tehnička pravila za projektiranje, izvođenje, uporabu i održavanje plinskih instalacija, ‘HSUP-P600’, 2.izdanje, Zagreb,2017.
- [12] Pravilnik za izvođenje unutarnjih plinskih instalacija GPZ-P1600, Zagreb, 1993.
- [13] Metoda proračuna toplinskog opterećenja prema EN 12831
- [14] Skupina autora: ‘Krautov strojarSKI priručnik’, Sajema d.o.o., Zagreb, 2009.

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Svojstva trgovačkog propana i butana .....	5
Tablica 2.2 Toplinska svojstva glavnih sastojaka UNP-a [1] .....	6
Tablica 2.3 Specifične topline isparavanja propana i n-butana ovisno o temperature UNP-a [1] ....	9
Tablica 2.4 Specifični toplinski kapaciteti butana i propana za plinovito stanje .....	11
Tablica 3.1 Sigurne udaljenosti stabilnih UNP spremnika od susjednih objekata .....	18
Tablica 3.2 Sigurnosne udaljenosti od nadzemnog spremnika .....	22
Tablica 4.1 Projektne temperature prizemlja .....	27
Tablica 4.2 Projektne temperature prvog kata .....	28
Tablica 4.3 Najveći dozvoljeni koeficijenti prolaza topline .....	32
Tablica 4.4 Iznosi temperatura po mjesecima i globalno sunčevo zračenje za grad Zadar .....	33
Tablica 4.5 Svojstva vanjskog zida prije energetske obnove .....	35
Tablica 4.6 Svojstva međukatne konstrukcije (parket) .....	35
Tablica 4.7 Svojstva međukatne konstrukcije (keramičke pločice) .....	36
Tablica 4.8 Svojstva unutarnjih pregradnih zidova .....	36
Tablica 4.9 Svojstva unutarnjeg nosivog zida .....	37
Tablica 4.10 Svojstva poda u prizemlju (parket) .....	37
Tablica 4.11 Svojstva poda u prizemlju (keramičke pločice) .....	38
Tablica 4.12 Svojstva ravnog krova prije energetske obnove .....	38
Tablica 4.13 Svojstva vanjskog zida nakon energetske obnove .....	40
Tablica 4.14 Svojstva ravnog krova nakon energetske obnove .....	40
Tablica 4.15 Svojstva prozora i vrata prije i nakon energetske obnove .....	41
Tablica 5.1 Faktor smanjenja temperaturne razlike .....	45
Tablica 5.2 Usvojene vrijednosti specifičnog toplinskog kapaciteta i gustoće zraka .....	47
Tablica 5.3 Vrijednosti korekcijskog faktora za nestambene zgrade, noćni prekid maksimalno 12 h .....	49
Tablica 5.4 Toplinsko opterećenje prostorija prizemlja prije energetske obnove .....	50
Tablica 5.5 Toplinsko opterećenje prostorija prvog kata prije energetske obnove .....	50
Tablica 5.6 Rekapitulacija toplinskog opterećenja prije energetske obnove .....	51
Tablica 5.7 Toplinsko opterećenje prostorija prizemlja nakon energetske obnove .....	51
Tablica 5.8 Toplinsko opterećenja prostorija prvog kata nakon energetske obnove .....	52

Tablica 5.9 Rekapitulacija toplinskog opterećenja nakon energetske obnove.....	52
Tablica 6.1 – Podaci o zgradi (izračunate vrijednosti).....	55
Tablica 6.2 Broj izmjena zraka pri razlici tlakova od 50 Pa prije i nakon obnove .....	58
Tablica 6.3 Volumeni, volumni protoci i minimalni broj izmjena zraka svake prostorije .....	59
Tablica 6.4 Transmisijski i ventilacijski koeficijenti prostorija prizemlja prije i nakon energetske obnove .....	60
Tablica 6.5 Transmisijski i ventilacijski koeficijenti prostorija prvog kata prije i nakon energetske obnove .....	61
Tablica 6.6 Rezimiranje transmisijskih i ventilacijskih koeficijenata prije i nakon energetske obnove .....	61
Tablica 6.7 Vremenska konstanta zgrade te bezdimenzijski parameter ovisan o vremenskoj konstanti zgrade prije i nakon energetske obnove .....	64
Tablica 6.8 Prosječni omjeri toplinskih gubitaka i dobitaka.....	66
Tablica 6.9 Mjesečni rezultati toplinskih gubitaka i dobitaka prije energetske obnove .....	67
Tablica 6.10 Mjesečni rezultati ukupno potrebne energije za grijanje prije energetske obnove .....	68
Tablica 6.11 Izračun broja grijanih dana prije energetske obnove .....	69
Tablica 6.12 Mjesečni rezultati toplinskih gubitaka i dobitaka nakon energetske obnove.....	70
Tablica 6.13 Mjesečni rezultati ukupno potrebne energije za grijanje nakon energetske obnove.....	71
Tablica 6.14 Izračun broja grijanih dana nakon energetske obnove .....	72
Tablica 7.1 Ulazni podaci za proračun spremnika PTV-a .....	74
Tablica 7.2 Rezultati proračuna spremnika potrošne tople vode .....	76
Tablica 8.1 Rezultati proračuna pada tlaka na srednjetačnoj instalaciji .....	84
Tablica 8.2 Rezultati proračuna pada tlaka na niskotlačnoj instalaciji .....	85
Tablica 8.3 Molarne mase sastava dimnih plinova .....	89
Tablica 8.4 Podaci o kotlovnici.....	92

## POPIS SLIKA

<i>Slika 2.1 Trokut za određivanje tlaka smjese propana i izomera butana [1]</i> .....	4
<i>Slika 2.2 Krivulje zasićenja propana i izomera butana [1]</i> .....	5
<i>Slika 2.3 Koeficijent prostornog toplinskog rastezanja <math>\beta</math> sastojaka UNP-a [1]</i> .....	8
<i>Slika 2.4 Shema postupka dobivanja UNP-a [3]</i> .....	12
<i>Slika 3.1 Kuglasti (lijevo) i valjkasti vodoravni nadzemni stabilni spremnici (desno) [9]</i> .....	18
<i>Slika 3.2 Podzemni valjkasti spremnici, prije i nakon ugradnje</i> .....	20
<i>Slika 3.3 Područja opasnosti malih podzemnih spremnika [1]</i> .....	23
<i>Slika 3.4 Područja opasnosti malih nadzemnih spremnika [1]</i> .....	24
<i>Slika 3.5 Područja opasnosti spremnika u posebnim građevinama [1]</i> .....	24
<i>Slika 3.6 Područja opasnosti djelomično ukopanih malih spremnika [1]</i> .....	25
<i>Slika 3.7 Osnovni dijelovi i priključci malog valjkastog spremnika UNP-a</i> .....	26
<i>Slika 4.1 Tlocrt prizemlja vrtića</i> .....	28
<i>Slika 4.2 Tlocrt prvog kata vrtića</i> .....	29
<i>Slika 4.3 Razlika površinskih temperature unutaršnjeg zida prije i nakon energetske obnove</i> .....	31
<i>Slika 4.4 Usporedba koeficijenata prolaza topline zidova, prozora i vrata prije i nakon energetske obnove</i> .....	42
<i>Slika 5.1 Postupak proračuna toplinskog opterećenja</i> .....	43
<i>Slika 5.2 Grafički prikaz usporedbe toplinskog opterećenja prije te nakon energetske obnove</i> .....	53
<i>Slika 6.1 skala za klasifikaciju energetskih razreda</i> .....	70
<i>Slika 6.2 Usporedba potrebne toplinske energije za grijanje po mjesecima prije i nakon energetske obnove</i> .....	73
<i>Slika 7.1 Kratkotrajni učinak odabranog spremnika PTV-a</i> .....	74
<i>Slika 8.1 Dva spojena kondenzacijska kotla</i> .....	78
<i>Slika 8.2 Koeficijenti lokalnih gubitaka</i> .....	82



## SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

U prvome dijelu diplomskog rada objašnjene su teorijske osnove i potrebna oprema ukapljenog naftnog plina koji je korišten kao energent za grijanje i pripremu tople vode u dječjem vrtiću u gradu Zadru.

U drugome dijelu rada izvršena je energetska obnova zgrade dječjeg vrtića. Nakon što je izvršena energetska obnova napravljen je proračun toplinskog opterećenja (prije te nakon energetske obnove), proračun godišnje potrebne energije za grijanje (prije te nakon energetske obnove) te proračun potrošne tople vode. Prema navedenim proračunima razrađen je strojarski projekt plinifikacije te rekonstrukcija kotlovnice. U plinskoj kotlovnici smještena su dva kondenzacijska plinska kotla spojena u kaskadu. Ukapljeni naftni plin se koristi kao gorivo u plinskim kondenzacijskim kotlovima, a produkti izgaranja se odvođe kroz zrako – dimovodni sustav.

Opskrba gorivom izvršena je pomoću jednog spremnika ukapljenog naftnog plina volumena 2700 l koji je postavljen u blizini kotlovnice, a spremnik se puni četiri puta u jednoj godini.

Također je izrađen troškovnik na temelju odabrane opreme te je plinska instalacija izvedena u skladu s propisima i mjerama zaštite od požara.

Ključne riječi: ukapljeni naftni plin, plinski kondenzacijski kotlovi, spremnik ukapljenog naftnog plina, energetska obnova, projekt plinske instalacije

## **SUMMARY AND KEY WORDS**

In the first part of the master's thesis the theoretical foundations and necessary equipment of liquefied petroleum gas, which was used as an energy source for heating and preparation of hot water in a kindergarten in the city of Zadar, were explained.

In the second part of the thesis, the energy renovation of the kindergarten building was carried out. After the energy renovation, the calculation of the heat load (before and after the energy renovation), the calculation of the annual energy required for heating (before and after the energy renovation) and the consumption of hot water was made. According to the mentioned calculations, an engineering project for the gasification and reconstruction of the boiler room was created. In the gas boiler room, there are two condensing gas boilers connected in cascade. Liquefied petroleum gas is used as fuel in gas condensing boilers, and combustion products are removed through the air-flue system.

The fuel supply was carried out using one tank of liquefied petroleum gas with a volume of 2700 litres, which was placed near the boiler room, and the tank is filled four times a year.

A cost estimate was also prepared based on the selected equipment and the gas installation was carried out in accordance with regulations and fire protection measures.

Keywords: liquefied petroleum gas, gas condensing boilers, liquefied petroleum gas tank, energy renovation, gas installation project

## **PRILOZI**

1. Tlocrt prizemlja dječjeg vrtića
2. Tlocrt prvog kata dječjeg vrtića
3. Zone opasnosti
4. Tlocrt plinske instalacije
5. Izometrija plinske instalacije
6. Hidraulička shema plinske kotlovnice
7. Zrako – dimovodni sustav